

Kimmo Laatikainen

## **GASEK CHP-VOIMALAITOS -HANKKEEN ESISELVITYS**

# **GASEK CHP-VOIMALAITOS -HANKKEEN ESISELVITYS**

Kimmo Laatikainen  
Opinnäytetyö  
Syksy 2015  
Energiatekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

---

Tekijä: Kimmo Laatikainen

Opinnäytetyön nimi: GASEK CHP-voimalaitos -hankkeen esiselvitys

Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2015      Sivumäärä: 72 + 1 liite

---

Opinnäytetyö toteutettiin osana GASEK Oy:n myynnin asiakasprojektia, jossa kartoitettiin hakeyrittäjän mahdollisuutta toimia energian pientuottajana. GASEKin voimalaitosratkaisut hyödyntävät puuhaketta kaasutusprosessissaan ja hakeyrittäjän voidaan sanoa tämän vuoksi olevan ihanteellinen asiakaspotentiaali, koska polttoainekustannukset ovat oman tuotannon ansiosta edulliset sekä kohtuullisen stabiilit.

Polttoaineen merkittävästi halvempi omakustannushinta verrattuna ostohakkeen hintaan mahdollistaa luonnollisesti myös investoinnin lyhyemmän takaisinmaksuajan. Kyseisessä asiakasprojektissa hakeyrittäjän tavoitteeksi alkukeskustelujen jälkeen tarkentui myytävän hakkeen laadun parantaminen kuivauksen avulla, sähköntuotanto myyntiin sekä voimalaitoksen lämmöntuotannon hyödyntäminen hakkeen kuivaukseen ja myyntiin. Koska tavoiteratkaisu sisälsi myös sähköntuotannon, voimalaitosratkaisuksi valikoitui sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos eli CHP (Combined Heat and Power)-voimalaitos.

Tämä esiselvitys pyrkii antamaan tietoa GASEKin CHP-voimalaitoksen ratkaisumallista kyseiseen asiakasprojektiin liittyen sekä käymään läpi toivoakseni riittävän yksityiskohtaisella tasolla sen potentiaalin, mikä liittyy CHP-voimalaitosprosessista saatavan sähkön ja lämmön hyödyntämiseen. Varsinkin lämmön hyödyntäminen jossain määrin joko omaan käyttöön tai myyntiin on ensiarvoisen tärkeää, jotta investoinnista saadaan kannattava.

Selvityksessä sekä siihen liittyvässä kannattavuuslaskurissa käsitellään tässä opinnäytetyössä yhtä ratkaisumallia. Kannattavuuslaskuri on lähtöarvojen muutoksilla käytettävissä myös muiden sähköntuotannon tuotantotariffiin oikeutettujen pientuotantolaitosten tuottoja sekä kustannuksia laskettaessa.

Työn tuloksena valmistui kannattavuuslaskuri sekä GASEK CHP-laitosinvestointia koskeva tietopaketti. Näiden tavoite on syventää tietoutta CHP-laitoksesta sekä laitosinvestointiin liittyvistä taloudellisista tekijöistä investointipäätöstä tehtäessä.

---

Asiasanat: CHP-voimalaitos, puun kaasutus, hake, investointi, syöttötariffi

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Energy Technology

---

Author: Kimmo Laatikainen

Title of thesis: Preliminary Research for GASEK CHP Plant

Supervisor: Jukka Ylikunnari

The thesis was submitted: Autumn 2015

Pages: 72 + 1 appendix

---

This thesis was made for GASEK Oy, which is located in Oulunsalo. GASEK Oy is an innovator in the research and development of wood gasification technology and its technologies have several international patents. The company manufactures cleantech energy solutions and GASEK Oy product categories covers solutions for CHP (Combind Heat and Power)-plants, Steam & Heat plants and wood chip dryers. Delivery project may consist of single modular of plant or fully automated production plant delivery.

Because in this customer case purpose was to produce power to sale this thesis concentrate fully automated CHP power plant which is equipped with dryer. Potential customer in this case was "local" wood chip entrepreneur and this gave the customer possible to use also plant's heat drying wood chips for own use and commercial purpose. This effects commercial wood chip productions transportation costs and because better heat of combustion it also give change to negotiate better price for this production. Therefore the customer savings and profits were possible to maximize in these calculations.

As a result of this thesis came an information package and investment calculator which can be used to find out the best possible GASEK solution for this customer. However I believe that this investment calculator, with small modifications, can be used various different plant solution calculations in a rough level.

---

Keywords: CHP-power plant, wood gasification, wood chip, investment, feed-in tariff

## ALKULAUSE

Haluan kiittää GASEK Oy:tä sen tarjoamasta mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö erittäin mielenkiintoisesta sekä omaa oppimista tukevasta aiheesta. Olen saanut GASEK Oy:n henkilökunnalta ja erityisesti toimitusjohtaja Kauko Väinämöltä sekä projektipäällikkö Juhani Kantomaaalta tärkeää tukea ja korvaamatonta tietotaitoa opinnäytetyöni sisältämän tiedon oikeellisuuden varmentamiseksi.

Kiitän Tekniikan ja luonnonvara-alan yksikön lehtori Jukka Ylikunnaria, joka toimii tämän opinnäytetyön ohjaajana, ja lehtori Pirjo Partasta, joka vastasi kielen ja tyylin ohjauksesta, heidän neuvoistaan ja avustaan.

Erityisesti haluan kiittää kotijoukkojani koko opiskeluprosessin kestäneestä kannustuksesta sekä henkisestä tuesta, joka on mahdollistanut sen, että opinnot ovat edenneet tavoitteideni mukaisesti.

Oulussa 4.9.2015

Kimmo Laatikainen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SANASTOA	9
1 JOHDANTO	12
2 ENERGIANTUOTANNON TULEVAISUUSNÄKYMÄ	14
2.1 Maailman energiavisio vuoteen 2035	14
2.2 Suomen energiavisio ja tulevaisuuden haasteet	15
2.3 Hallitusohjelman linjaukset energiantuotantoa koskien	17
2.4 Hajautettu energiantuotanto hallituksen linjauksen tukena	18
2.5 Suomen ilmasto ja sen muuttuminen	19
2.6 Kotimaista puhdasta energiaa puun kaasutuksesta	19
3 GASEK OY – RATKAISUJA PUUN KAASUTUKSEEN	21
3.1 Lämmön ja höyryn tuotanto	21
3.2 Kaasuntuotantoyksiköt OEM-kumppaneilla	21
3.3 Puuhakkeen kuivaus	22
3.4 Automaattioratkaisut	22
4 PUUN KAASUTUS JA POLTTO	23
4.1 Prosessi	23
4.1.1 Kuivuminen eli kosteuden haihtuminen	24
4.1.2 Pyrolyysi eli terminen hajoaminen	25
4.1.3 Pyrolyysikaasujen syttyminen	26
4.1.4 Jäännöshiilen palaminen	27
4.1.5 Pelkistyminen	28
4.2 Kaasutusmenetelmiä	29
4.2.1 Kaasuttimen paineistus	29
4.2.2 Kaasutusaste	30
4.2.3 Reaktoriyyppi	30
4.2.4 Lämmöntuonti	30
4.3 Kaasun poltto (lämmöntuotanto)	32

4.4 Kaasumoottori ja kaasuturbiini (CHP)	33
4.4.1 Kaasumoottori	33
4.4.2 Kaasuturbiini	33
5 PIENIMUOTOINEN SÄHKÖNTUOTANTO	35
5.1 Yleisimmät tuotantotavat	35
5.2 Pienimuotoisen sähköntuotantolaitoksen käyttötavat	36
5.3 Pienimuotoisen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon	36
6 SYÖTTÖTARIFFIT	37
6.1 Syöttötariffin hyväksynnän vaatimukset puupolttoaine- ja metsähakevoimalaitoksille	37
6.2 Puupolttoainevoimalan syöttötariffin määräytyminen ja lämpöpreemio	38
6.3 Metsähakevoimalan syöttötariffin ja kaasutinpreemion määräytyminen	39
6.4 Yhteenvetoa syöttötariffista	40
7 INVESTOINTITUET UUSIUTUVALLE ENERGIALLE	42
8 GASEK CHP-VOIMALAITOS	43
8.1 Hakevarasto ja laitosrakennus	43
8.2 Kuivuri ja sen mukanaan tuomat hyödyt	43
8.3 Kaasutin	44
8.4 Puhdistuslaitteisto ja jäähdytys	46
8.5 Moottori	47
8.6 Ohjelmoitava logiikka	48
9 KANNATTAVUUSLASKURI	49
9.1 GASEK-voimalaitoksen investointikustannus	51
9.1.1 Pääomалaina	51
9.1.2 Rahoituslaitoslaina	51
9.1.3 Metsähakevoimalaitoksen investointituki	52
9.2 GASEK-voimalaitoksen tuotantokustannukset	52
9.3 GASEK-voimalaitoksen tuotot	52
9.4 Yhteenvetoa kannattavuuslaskurin tulokseen vaikuttavista asioista	55
10 KANNATTAVUUSLASKURIIN SYÖTETTÄVÄT LÄHTÖTIEDOT	56
10.1 CHP-voimalaitoksen perustiedot	56
10.2 CHP-voimalaitoksen lähtötiedot	57
10.3 Puupolttoainekustannusten lähtötiedot	57

10.4 Hakkeen myyntihinta	58
10.5 Kuivurin perustiedot	58
10.6 Kuivatun hakkeen lähtötiedot	59
10.7 Sähkön hinnan lähtöarvot	59
10.8 Nykyisen lämpöenergiamuodon korvaaminen hakelämmöllä tai lämmöntuotanto myyntiin	59
10.9 Investointiin, rahoitukseen ja kannattavuuden laskemiseen liittyvät lähtöarvot	60
11 KANNATTAVUUSLASKURIN TULOKSET	62
11.1 OSIO I: CHP-voimalaitoksen käytönaikaiset tuotantokustannukset sekä tuotot	62
11.2 OSIO II: Investointi CHP-voimalaitos	64
11.3 OSIO III: Yhteenvetotaulukko CHP-laitosinvestoinnista	65
12 KANNATTAVUUSLASKURIN KÄYTTÖ LÄMPÖVOIMALAITOS- INVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN LASKEMISEEN	67
13 POHDINTA	68
LÄHTEET	70
Liite 1 Kannattavuuslaskuri	



## SANASTOA

Bullet-laina	on kertalyhenteinen laina, joka maksetaan takaisin yhdessä erässä laina-ajan lopussa. Eräpäivänä laina maksetaan yhdessä erässä kokonaisuudessaan loppuun ja siitä tulee myös lainasta käytettävä suomenkielinen nimitys kertalyhennyslaina.
CHP	( <i>Combined Heat and Power</i> ) Sähkön ja lämmön yhteistuotanto on tuotantomuoto, jossa samassa prosessissa tuotetaan samanaikaisesti sähkön lisäksi lämpöä.
Ilmakerroin	tarkoittaa polttoaineen palamiseen käytettävän hapen määrää suhteessa saman polttoainemäärän stökiometriseen palamiseen tarvittavasta hapesta.
Jakeluverkko	on se sähköverkon osa, jossa sähköenergiaa siirretään ja jaetaan loppukäyttäjille asti. Jakeluverkon nimelliskäynnin jännite on pienempi kuin 110 kilovoltia.
Lämpöarvo	eli polttoarvo ilmaisee aineen täydellisessä palamisessa kehittyvän lämpöenergiamäärän aineen massayksikköä kohden. Kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden kohdalla lämpöarvo ilmoitetaan tavallisesti megajouleina polttoainekiloa kohti, MJ/kg. Kaasumaisilla polttoaineilla lämpöarvo ilmoitetaan yleensä megajouleina tilavuusyksikköä eli kuutiometriä kohti, jolloin yksikkö on MJ/m <sup>3</sup> .
Lämpö-	eli termokemiallisessa prosessissa lämpöenergia vapautuu tai absorboituu kemiallisessa reaktiossa.

OEM	<i>original equipment manufacturer</i> eli suomeksi alkuperäinen laitevalmistaja. OEM nimitystä käytetään myös merkityksessä <i>lopputuotteen valmistaja</i> . Tällöin toisen tekemä tuote myydään omana eli osana omaa tuotevalikoimaa, osana omaa tietojärjestelmää tai osana omaa laitteistoa ja OEM-yrityksen nimi tai kauppanimi on merkitty tuotteeseen.
Primäärienergia	tarkoittaa ihmiskunnan käytössä olevia energiamääriä siinä muodossa kuin ne ovat ennen energiatuotantoa. Energiatuotannossa eli muunnosprosessissa primäärienergia jalostetaan käyttökelpoiseen muotoon ja saatavaa energiaa kutsutaan sekundäärienergiaksi.
Puukaasulla	tarkoitetaan pyrolyysin tuloksena puusta korkeassa lämpötilassa vähähappisen palamisen avulla tuotettua vahvasti hiilimonoksidi- eli häkäpitoista kaasua, jota voidaan käyttää muun muassa erilaisten polttomootoreiden sekä polttimien polttoaineena.
ROI (Return on Investment) eli sijoitetun pääoman tuottoprosentti	on yksi tärkeimmistä tilinpäätösanalyysin tuottamista tunnusluvuista. Se mittaa yrityksen suhteellista kannattavuutta eli sitä tuottoa, joka on saatu yritykseen sijoitetulle korkoa tai muuta tuottoa vaativalle pääomalle.
Sykloni	on fluidien puhdistamiseen käytettävä laite. Siinä partikkeleita sisältävä kaasu tai neste saatetaan syklonikartiossa voimakkaaseen pyörimisliikkeeseen, jolloin ns. keskipakoisvoima erottaa raskaammat partikkelit kartion reunoihin, joita myöten ne kerääntyvät syklonin pohjalle.

**Syöttötariffi** on valtion sähkömarkkinoiden ohjauskeinoksi tarkoitettu takuuhinta sähkölle. Syöttötariffissa sähkön tuottajalle taataan määrätty hinta; jos markkinahinta on tätä takuuhintaa alhaisempi, maksavat sähkön kuluttajat erotuksen. Yleisimmin syöttötariffit ovat käytössä uusiutuvilla energialla tuotetulle sähkölle uusiutuvien energiantuotantomuotojen kilpailukyvyn ja käyttöönoton edistämiseksi.

#### **Tasalyhennyslainassa**

maksuerä koostuu kiinteästä lyhennysosasta sekä kertyneestä korosta. Tämä tarkoittaa sitä, että lainan alussa kuukausittaiset maksuerät (lyhennysosa + korkoosa) ovat suuria. Jos korkotaso pysyy samana, jokainen maksuerä on edellistä pienempi, koska koron osuus pienenee.

#### **Tuotekaasu**

tarkoittaa kiinteästä polttoaineesta kaasunkehittimessä termisen kaasutusprosessin tuloksena ja kaasutusaineen vaikutuksesta muodostuvaa kaasua. Tuotekaasua käytetään moottoripolttoaineena tai sähkön ja lämmön tuotantoon. Tuotekaasu sisältää eri pitoisuuksina esimerkiksi typpeä, vetyä, hiilimonoksidia, hiilidioksidia ja metaania. Kaasutusaineina toimivat ilma, happi, vesihöyry tai niiden sekoitukset.

# 1 JOHDANTO

GASEK on suomalainen vuonna 2008 perustettu energiateknologiayritys, joka kehittää ja valmistaa puun kaasuttamiseen perustuvia ratkaisuja lämmön- ja höyryn tuotantoon sekä erikoisuuneihin, kuten rumpu-uunit. GASEK toimii kotimaan markkinoiden lisäksi vahvasti Euroopan alueella.

GASEKin teknologia perustuu 30 vuoden kehitystyöhön, jossa puun kaasutukseen perinteisesti liittyneet ongelmat on saatu ratkaistua päästötöntä ja ympäristöystävällistä energiaa tuottaviksi voimalaitosratkaisuiksi. GASEKin kehittämän teknologian ytimessä on kaasutusmenetelmä, joka tuottaa puhdasta kaasua sekapuuhakkeesta. GASEKin ratkaisu tarjoaa mahdollisuuden itsenäiseen sähkön ja lämmön tuotantoon asiakkaan oman tarpeen mukaisesti.

Opinnäytetyön asiakasprojekti koski Kemin ja Tornion alueella toimivia hakeyrittäjiä, joiden tavoitteena on nykytilanteessa toimittaa omasta metsästä omalla konekannalla tuotettua laadukasta metsähaketta oman paikkakunnan / lähipaikkakuntien voimalaitosten tarpeisiin.

Hakeyrittäjien toiminta on perustunut nykyisellään voimalaitoksen/voimalaitosten kysyntää vastaaviin toimituksiin. Tuotantomääriä ja nykyistä kysyntää on tarkoitus kasvattaa parantamalla toimitetun hakkeen laatua. Laadulla tässä yhteydessä tarkoitetaan nykyistä tasalaatuisempaa ja kuivempaa haketta, jolloin voimalaitoksen on mahdollisuus saada tehollisen lämpöarvon (saapumistilassa) nousun myötä myös parempi hinta tuotteelleen. Laadun paranemisen myötä myös uudet toimituskohteet ovat mahdollisia, ja tällä olisi oma positiivinen vaikutuksensa tuotantomääriin. Lisäksi hakeyrittäjän ajatuksena on oma sähkön tuotanto sekä tuotetun sähkön myynti.

Edellä mainittu lämmön- ja sähköntuotanto olisi tarkoitus toteuttaa GASEK Oy:n lämmön ja sähkön yhteistuotantoon tarkoitettun CHP-voimalaitoksen avulla. Tämä tutkimus sisältää muun muassa tarkemman selvityksen suunnitellusta ratkaisusta sekä eri investointivaihtoehtoista ja laskelmat mahdollisille eri investointivaihtoehdoille takaisinmaksuaikoihin. Laskelmissa on pyritty ottamaan

huomioon mahdolliset muuttuvat tekijät niin hyvin, kuin se lähtötiedot huomioon on mahdollista.

Esiselvityksen tavoitteena on muodostaa potentiaaliselle asiakkaalle selkeä kuva voimalaitoksen käytönaikaisista kuluista sekä tuotoista. Rakennusvaiheen kuluihin tässä esiselvityksessä ei oteta kantaa, vaan nuo kulut tulee sisällyttää/sisällyttää kannattavuuslaskurin investointikustannuksiin.

## 2 ENERGIANTUOTANNON TULEVAISUUSNÄKYMÄ

### 2.1 Maailman energiavisio vuoteen 2035

Energia-alalla kansalliset ja kansainväliset haasteet painottuvat energiakulutuksen hillitsemiseen, ympäristövaikutusten vähentämiseen sekä energiamarkkinoiden vapautumiseen (1, s. 4).

Energiakulutus on ollut perinteisesti sidoksissa talouden kasvuun, joka globaalisti näyttää jatkuvan kehitysmaiden sekä siirtymätalousmaiden talouskasvun myötä. IEA (International Energy Agency) ennustaa noin 53 prosentin kasvua globaalissa primäärienergian käytössä seuraavan 20 vuoden aikana. Tämä jakautuu siten, että teollistuneiden OECD-maiden energiankulutuksen arvioidaan kasvavan 18 prosenttia ja suurimmat muutokset nähdään ei-OECD-maissa, joiden kasvuksi ennustetaan 85 prosenttia. (2.)

Puolet maailman energiakulutuksen kasvusta seuraavien 20 vuoden aikana tulee kahdesta nopeasti kehittyvästä maasta – Kiinasta ja Intiasta. Vuonna 2008 kyseiset maat kuluttivat 21 prosenttia maailman energiasta ja vuonna 2035 niiden osuuden uskotaan nousevan jo 31 prosenttiin. Kiina on jo nyt ohittanut Yhdysvallat maailman suurimpana energiankuluttajana, ja vuonna 2035 Kiinan ennustetaan kuluttavan energiaa IEO211:n arvion mukaan 68 prosenttia enemmän kuin Yhdysvaltojen. (2.)

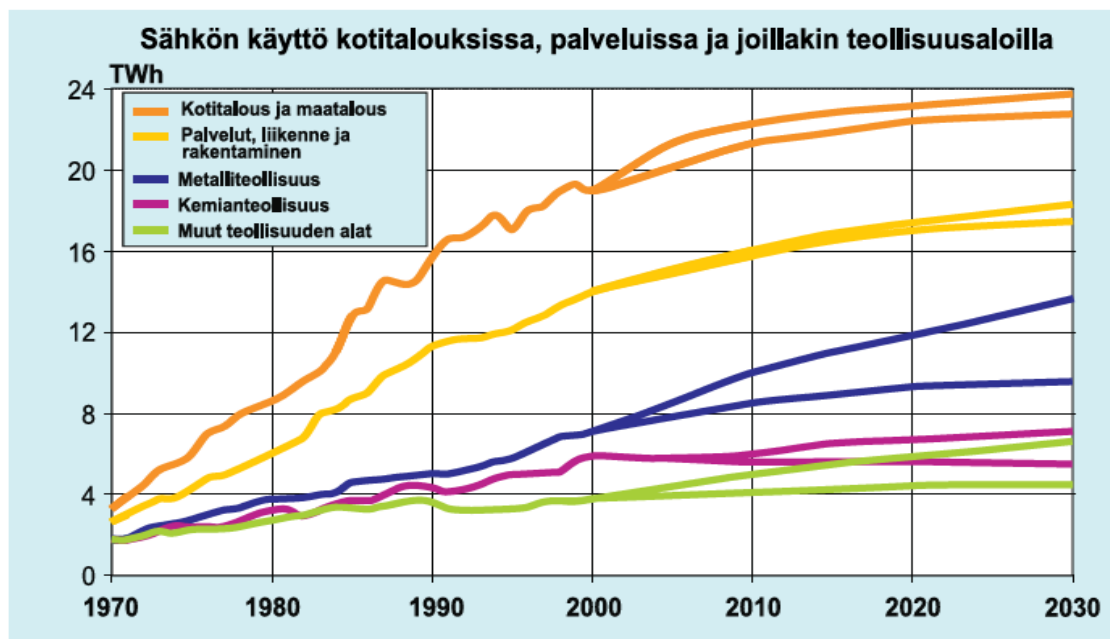
Ympäristövaikutusten vähentämisen kannalta juuri kehitysmaiden sekä siirtymämaiden talouskasvu aiheuttaa sen, että vaikka eri energiamuodoista uusiutuvan energian ennakoidaan kasvavan nopeimmin, myös perinteiset fossiiliset polttoaineet kasvavat edelleen ja säilyttävät johtoasemansa maailman energia-paletissa. Muutoksen hitautta kuvaa parhaiten se, että vuonna 2020 fossiilisten polttoaineiden osuuden globaalista energiatuotannosta ennustetaan olevan noin 90 prosenttia ja vastaavasti vuonna 2035 fossiiliset polttoaineet kattavat edelleen lähes 80 prosenttia maailman energiankulutuksesta. Koska muutos on hidasta, globaalin primäärienergian käytön lisääntymisen myötä hiilidioksidipääs-

töt jatkavat kasvuaan osuuden pientymisestä huolimatta, ja tämä on suuri haaste globaalille ilmastopolitiikalle. (2.)

Pohjoismaiset sähkömarkkinat ja niiden vapauttaminen 1990-luvulla ovat olleet Euroopan ja samalla koko maailman edelläkävijäalue energiamarkkinoiden vapauttamisessa. Energiamarkkinoiden vapautuminen on Suomelle sekä uhka että mahdollisuus. Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden integroituminen Keski-Euroopan markkinoihin luo Suomelle mahdollisuuden olla edelläkävijä uusituvan vähäpäästöisen energian tuottajana ja viejämäana. Toisaalta tämä luo mahdollisuuden Keski-Euroopan maiden tuoda sähköä markkinoille. Kun kilpailu lisääntyy, alentaa se sähkön hintaa, mikä taas vaikuttaa muun muassa investointien kannattavuuslaskelmiin.

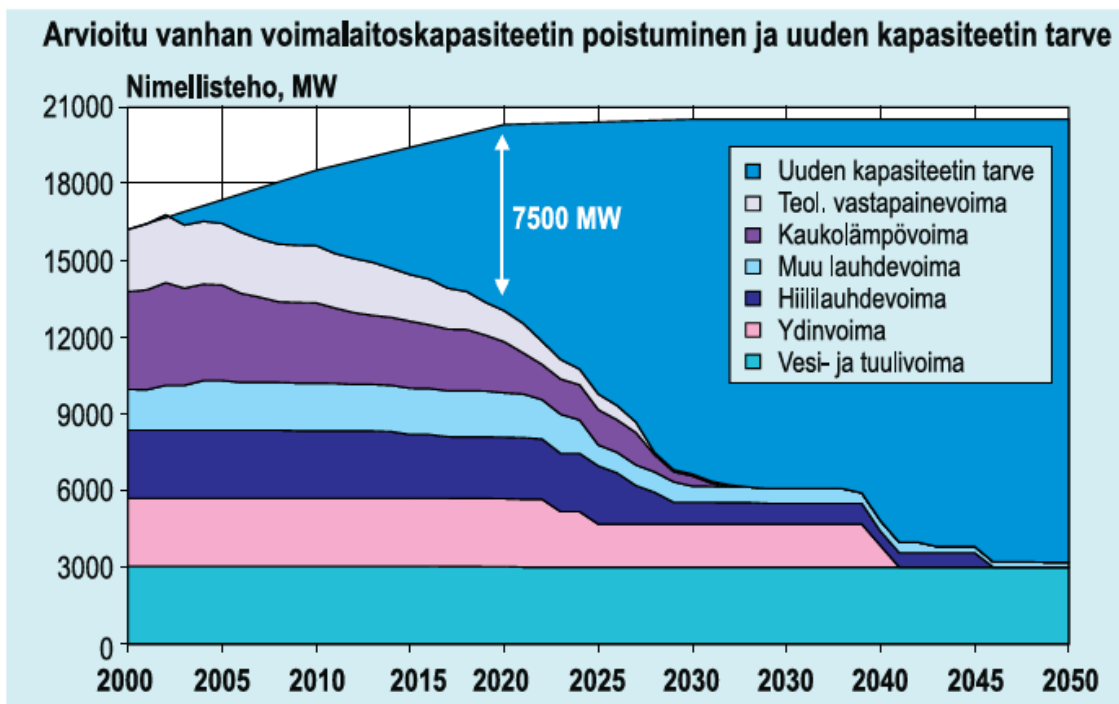
## 2.2 Suomen energiavisio ja tulevaisuuden haasteet

Suomen taloudessa on meneillään rakennemuutos, jonka vuoksi talouskasvu on ollut globaalisti katsottuna hidasta vaikuttaen hillitsevästi myös energiankulutuksen kasvuun. Tästä huolimatta etenkin sähkön tarve ja kokonaiskulutus on kasvanut tasaisesti, mutta kasvu tulee todennäköisesti tasaantumaan lähivuosina (kuva 1). (1, s. 4.)



KUVA 1 Suomen Energiavisio 2030 Skenaariot sähkön kulutuksesta eri loppukäyttösektoreilla, metsäteollisuus poisluettuna (1, s. 16)

Suomen hallituksen yksi merkittävimmistä tavoitteista on omavaraisen energia-  
tuotannon lisääminen. Omat haasteensa omavaraisuuden kasvattamiselle ai-  
heuttaa edellä mainittu sähkön kulutuksen kasvun sekä vanhan voimalaitoska-  
pasiteetin poistuminen. Kapasiteetin poistumisen myötä syntyvä merkittävä uu-  
den tuotantokapasiteetin tarve arvioidaan jo vuonna 2020 olevan noin 7500 MW  
(kuva 2). (1, s. 4.)



*KUVA 2 Suomen Energiavisio 2030, arvioitu vanhan voimalaitoskapasiteetin  
poistuminen ja uuden kapasiteetin tarve (1, s. 4)*

Tulevaisuuden tuotantokapasiteetin tarve johtaa myös lisääntyviin ympäristö-  
paineisiin, sillä energiatuotannolla sekä -kulutuksella on monia kauaskantoisia  
ja haitallisia ympäristövaikutuksia, joista varsinkin ilmastonmuutos tulee vaikut-  
tamaan merkittävästi tuleviin ratkaisuihin. Tämän vuoksi uudessa hallitusohjel-  
massa omavaraisen energiatuotannon kasvattamiseen pyritään ohjauskeinoilla,  
jotka tukevat juuri uusiutuvilla vähäpäästöisillä energialähteillä tapahtuvaa tuo-  
tanta. (1, s. 4.)



### 2.3 Hallitusohjelman linjaukset energiantuotantoa koskien

Kestävien energiaratkaisujen kehittämisen, käyttöönoton sekä viennin avulla Suomen strateginen tavoite on olla kymmenen vuoden sisällä bio- ja kiertotalouden sekä cleantechin edelläkävijä. Näiden vaikutuksesta Suomen vaihtotaseen tulisi parantua ja energiantuotannon omavaraisuuden kasvun myötä työpaikkojen määrän tulisi kasvaa merkittävästi. (3, s. 21.)

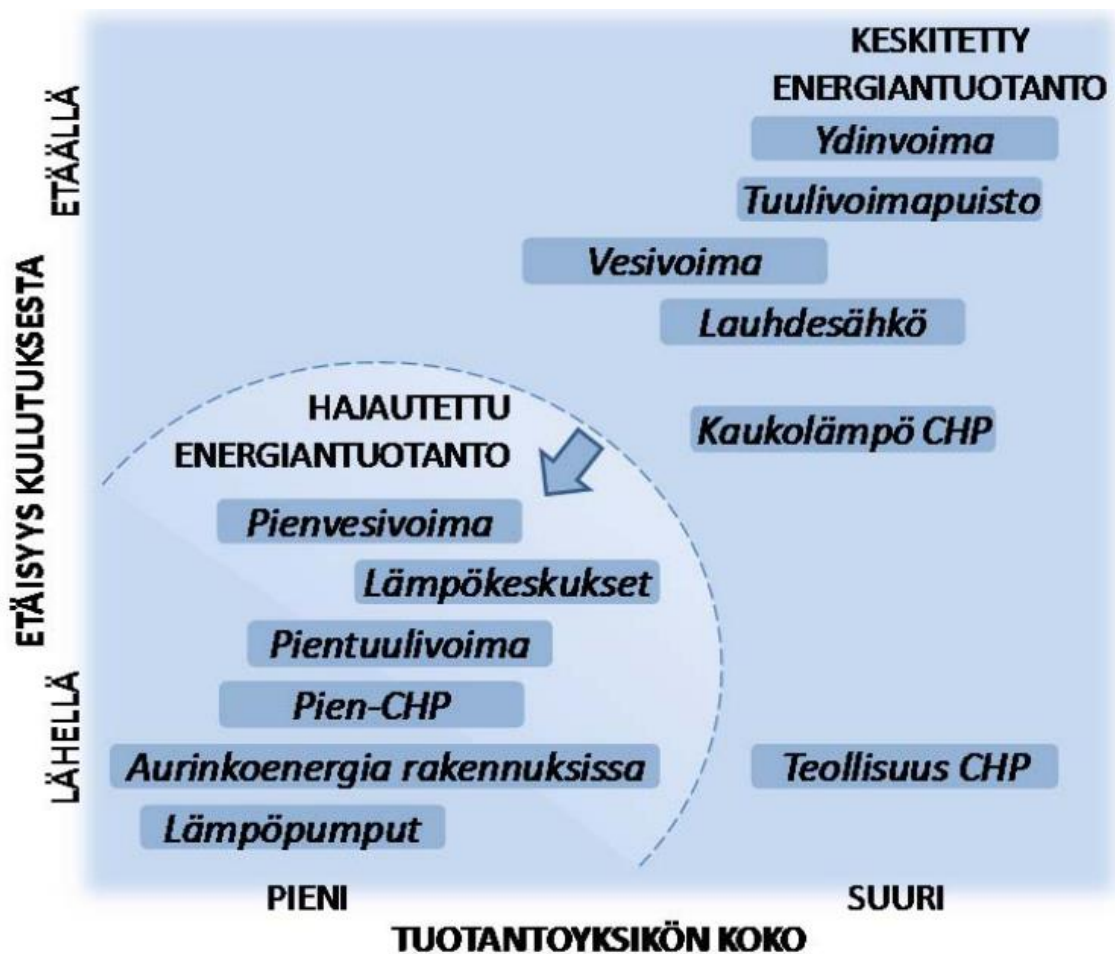
Suomen energiantuotannon tavoitteet keskittyvät bioenergiaan sekä lisäämään päästöttömän, uusiutuvan energian tuotantoa siten, että sen osuus 2020-luvulla nousee yli 50 prosentin. Omavaraisuuden osuus vastaavana ajanjaksona pyritään hallituskauden kärkihankkeilla nostamaan yli 55 prosentin. (3, s. 21.)

Hallitusohjelmassa on tavoite luopua hiilen käytöstä energiantuotannossa 2020-luvulla muun muassa julkiselle sektorille suunnattujen kannusteiden avulla. Myös lämmityksessä käytetty öljy kannustetaan korvaamaan päästöttömillä uusilla ratkaisulla ja siten puolittamaan tuontiöljyn käyttö 2020-luvulla. Lisäksi pyritään helpottamaan uusiutuvien energiantuotantomuotojen osalta uudistuksia hidastavaa hallinnollista taakkaa sekä suunnataan voimavaroja ja tukia kotimaiseen uudistuvan energian tuotantoon. Uuden teknologian käyttöönottoa pyritään edistämään cleantech-sektorin pilottihankkeilla. Näillä toimenpiteillä Suomen pitäisi saavuttaa 2020 ilmastotavoitteet jo vaalikauden aikana. (3, s. 21–22.)

Ohjelma pyrkii lisäämään ja monipuolistamaan puun käyttöä sekä kasvattamaan sen jalostusarvoa. Kansallisen metsästrategian avulla tavoitteena on yrittäjämäinen metsätalous sekä metsien hoito ja tähän pyritään kasvattamalla metsätilakokoa. Tätä tavoitetta tukevat toimenpiteet, joilla muun muassa sukupolvenvaihdoista edistetään, metsä- ja yrittäjävähennyksiä lisätään sekä perikuntien elinkaaria nopeutetaan. (3, s. 22.)

## 2.4 Hajautettu energiantuotanto hallituksen linjauksen tukena

Hajautetussa energiantuotannossa tuotanto tapahtuu lähellä loppukulutuspiistettä, ja sille on ominaista kohtuullisen pienet energiantuotantoyksiköt (kuva 3). Monet keskitetyt energiantuotantoratkaisut perustuvat tällä hetkellä fossiilisiin polttoaineisiin, ja vaikka hajautetut energiaratkaisut eivät välttämättä tarkoita uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämistä, kansainvälinen kehitystyö on pitkälti perustunut ilmastonmuutoksen torjunnan myötä juuri uusiutuviin energiaratkaisuihin. (4, s. 5–6.)



KUVA 3 Hajautetun energiantuotannon määrittely (4, s. 6)

Täten hallituksen linjaus energiantuotannon omavaraisuuden kasvattamisesta lisää myös kysyntää uusiutuvista energialähteistä paikallisesti tuotetulle päästö-

vapaalle energialle. Tuontipolttoaineiden käytön vähenemisen myötä paranee myös Suomen huoltovarmuus.

## **2.5 Suomen ilmasto ja sen muuttuminen**

Suomi sijaitsee suurimmaksi osaksi pohjoisten leveyspiirien 60° ja 70° välillä keskileveysasteilla. Ilmasto on ns. väli-ilmasto, jossa ilmavirtausten suunnan ja matalapaineiden liikkeiden mukaan on meri- tai mannerilmaston piirteitä. Sijainnin lisäksi lämpötilaan vaikuttaa merkittävästi Atlantilla Skandinavian länsipuolella virtaava Golfvirta, jonka ansiosta Suomessa keskilämpötila on useita asteita korkeampi kuin muilla vastaavalla leveyspiirivyöhykkeellä sijaitsevilla manteralueilla. Toisaalta, kun Aasian mannerilmaston ulottuu ajoittain Suomeen ja tuo mukanaan talven pakkasjaksot sekä kesän helteet, on ilmasto mannermaisempi kuin muissa pohjoismaissa. (5.)

Suomen vuosikeskilämpötila on kohonnut jo reilun asteen viimeisen 150 vuoden aikana. Maapallon keskilämpötila on kiihtyvästi kohonnut 1970-luvun puolivälistä nykypäivään, ja sama suuntaus näkyy myös Suomessa. Pohjoisten alueiden ilmasto muuttuu voimakkaammin kuin ilmasto keskimäärin. Tähän vaikuttaa muun muassa jäätiköiden ja lumipeitteen aikaisempaa voimakkaampi sulaminen, jonka seurauksena paikallinen lämpeneminen voimistuu. Pessimistisimmän ennusteen mukaan Suomen ilmasto voi lämmetä lähes kuusi astetta vuosisadan loppuun mennessä. (6;7.)

## **2.6 Kotimaista puhdasta energiaa puun kaasutuksesta**

Puun kaasutuksen (kuva 4) teknologian kehittymisen myötä kaasutuksesta on tullut kilpailukykyinen uusiutuvan ja ympäristöystävällisen energiatuotannon muoto. Puukaasu on lähellä tuotettua puhdasta uusiutuvaa energiaa, jonka käyttö vähentää fossiilisten polttoaineiden, kuten öljyn ja kivihiilen kulutusta ja on siten ympäristön edun mukaista. (4, s. 5.)



*KUVA 4 GASEK 150 kW:n CHP-kaasutin*

Pitkiltä siirtomatkoilta välttään, koska kaasutuksessa energia voidaan tuottaa lähellä raaka-ainelähteitä sekä käyttöpaikkoja. Tämän ansiosta hävikki vähenee ja energiaa on myös mahdollista tuottaa omavaraisesti alueilla, jotka muutoin voivat olla etäälläkin valtakunnallisista lämpö-/sähköverkoista. Paikallisuuden ansiosta samalla vähenevät myös tuontipolttoaineiden kuljetuksesta aiheutuvat ympäristöhaitat. (4, s. 5.)

Puhtauden takaa se, että kaasutusprosessin syntyvä puukaasu sisältää puhdistuksen jälkeen vähän ympäristölle haitallisia päästöjä ja pienhiukkasia. Lopputuotteena saatavan tuotekaasun hiukkaspitoisuus on olematon ja jäljelle jääneet pienhiukkaset palavat moottorissa tai polttimessa synnyttäen pakokaasua, jonka koostumus on pääosin hiilidioksidia, vesihöyryä ja typpeä.

### **3 GASEK OY – RATKAISUJA PUUN KAASUTUKSEEN**

GASEK on suomalainen vuonna 2008 perustettu energiateknologiayritys, joka kehittää ja valmistaa puun kaasuttamiseen perustuvia ratkaisuja lämmön- ja höyryn tuotantoon, sekä erikoisuuneihin kuten rumpu-uunit. GASEK toimii kotimaan markkinoiden lisäksi Euroopan alueella. (8.)

GASEKin teknologia perustuu 30 vuoden kehitystyöhön, jossa puun kaasutukseen perinteisesti liittyneet ongelmat on saatu ratkaistua päästötöntä ja ympäristöystävällistä energiaa tuottaviksi voimalaitosratkaisuiksi. GASEKin kehittämän teknologian ytimessä on kaasutusmenetelmä, joka tuottaa puhdasta kaasua sekapuuhakkeesta. GASEKin ratkaisu tarjoaa mahdollisuuden itsenäiseen sähkön ja lämmön tuotantoon asiakkaan oman tarpeen mukaisesti. Seuraavassa on kuvailtu lyhyesti GASEKin asiakasratkaisuja. (8.)

#### **3.1 Lämmön ja höyryn tuotanto**

GASEK HEAT- JA GASEK STEAM-ratkaisuissa käytetään normaalia tulitorvituliputkikattilaa, johon on asennettu puukaasupoltin. GASEK-kaasutin tuottaa puhdasta puukaasua poltettavaksi kattilassa. Kaasu siirretään ja poltetaan kuumana, jotta puun energia saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti. (8.)

GASEK toimittaa ratkaisunsa laajimmillaan kokonaistoimituksena, jolloin mukana on kattila, puukaasupoltin, hakesiilo ja konehuone. Tyypillisin GASEKin laitoitoimitus on kuitenkin niin sanottu Retrofit-toimitus, jolloin nykyinen energiantuotantomuoto korvataan puukaasulla ja puukaasupoltin asennetaan asiakkaan olemassa olevaan kattilaan. (8.)

#### **3.2 Kaasuntuotantoyksiköt OEM-kumppaneilla**

GASEK toimittaa OEM-kumppanille kaasuntuotantoyksikön, minkä jälkeen OEM-kumppani rakentaa CHP- tai höyryntuotantolaitoksen yksikön ympärille. Näissä projekteissa GASEK perehdyttää ja kouluttaa OEM-kumppanin henkilökunnan GASEKin voimalaitosteknologiaan. Kumppani vastaavasti huolehtii tä-

män jälkeen laitosten myynnistä, voimalaitoksen valmistuksesta sekä huollosta ja voi markkinoida laitosta omalla tuotemerkillään. (8.)

### **3.3 Puuhakkeen kuivaus**

GASEKin kuivurissa puuhakkeen kuivaus tapahtuu kondensoivalla vastavirta-kuivausmenetelmällä, joka on luotu arktisiin olosuhteisiin ja on parhaimmillaan talvella. Kehitystyötä on tehty yhteistyönä yliopistojen sekä tutkimuslaitosten kanssa tuoreimman tutkimustiedon saamiseksi sekä analyyttisen näkökulman mahdollistamiseksi. (8.)

### **3.4 Automaatioratkaisut**

Asmacon Oy on osa GASEK-konsernia, ja se suunnittelee, kehittää sekä toteuttaa automaatio- ja prosessitekniikkaan liittyvät projektit. Energiateollisuuden perustamiskulujen minimoimiseksi Asmacon toteuttaa sähkösuunnittelun ja -asennukset automaation rinnalla. (8.)

## 4 PUUN KAASUTUS JA POLTTO

Kiinteässä polttoaineessa on haihtuvia aineita ja haihtumattomia aineita. Haihtuvat aineet pyrolysoituvat korkean lämpötilan vaikutuksesta ja haihtumattomat aineet vastaavasti alkavat kaasuuntua, kun happimolekyylit tunkeutuvat polttoaineen sisään ja reagoivat hiilen kanssa. Kaasutus on tähän perustuva termokemiallinen prosessi, jossa kiinteitä polttoaineita poltetaan alihappisissa olosuhteissa, jolloin polttoaine osittain palamisen ja osittain muiden reaktioiden tuloksena hajoaa kaasumaisiksi yhdisteiksi. (9.)

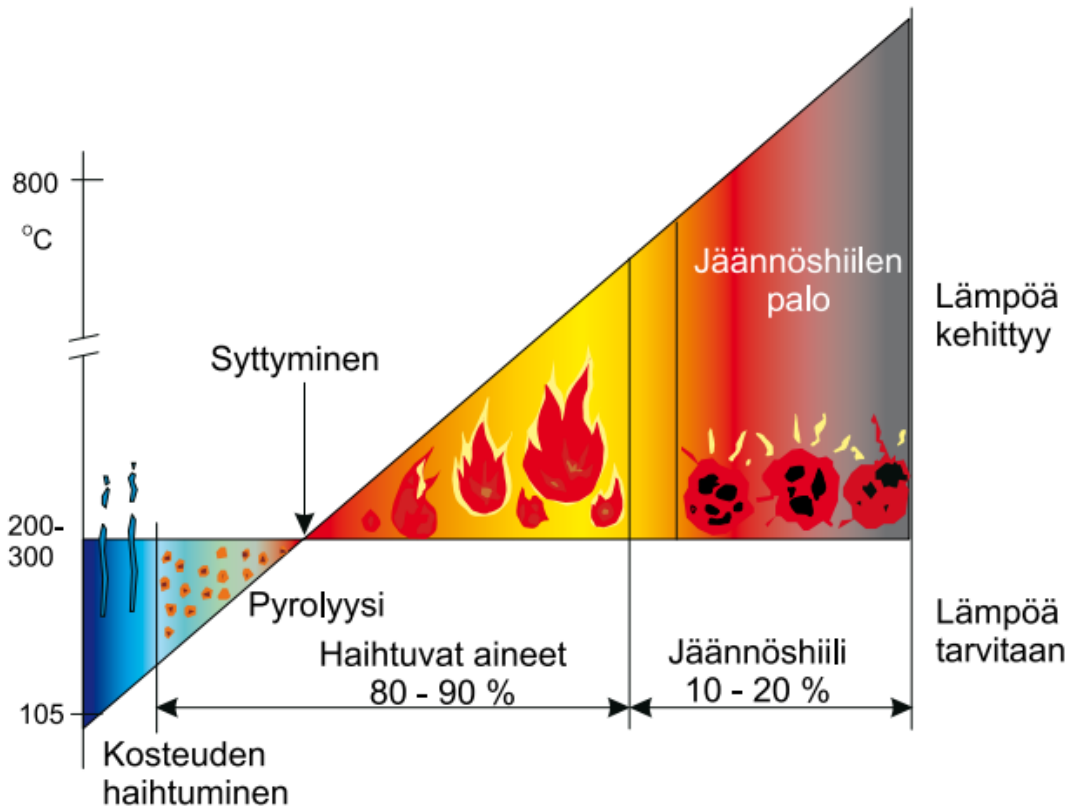
Oikeilla säädöillä sekä toiminta-alueella on suuri merkitys kaasutuksen kannattavuuteen. Varsinkin alihappisen polton ilmakerroin on polttoaineen ohella ratkaisevassa asemassa tuotekaasun koostumuksen kanssa, sillä ilmakertoimen kasvattaminen vähentää tervan sekä puuhiilen määrää. Liian korkea ilmakerroin puolestaan vähentää vedyn ja hiilidioksidin muodostumista huonontaa tuotekaasun lämpöarvoa. Pientuotannossa kaasutuksen optimaalinen ilmakerroin on alueella 0,3–0,4 optimaalisen lämpötilavälin ollessa 700–1000 °C. Näissä olosuhteissa syntyy tuotekaasua, joka sisältää palavina ainesosina häkää, vetyä, metaania sekä muita hiilivetyjä, ja lisäksi inertteinä ainesosina typpeä, hiilidioksidia sekä vesihöyryä. (10, s. 16–17.)

### 4.1 Prosessi

Kiinteän aineen kaasutuksessa noudatetaan seuraavia palamisen (kuva 5) ja kaasutuksen vaiheita: alkulämpeneminen noin 100 asteeseen, kuivuminen eli kosteuden haihtuminen, terminen hajoaminen eli pyrolyysi, pyrolyysikaasujen syttyminen ja palaminen, jäännöshiilen palaminen sekä pelkistyminen, jonka seurauksena varsinainen raakakaasu muodostuu. (10, s. 13.)

Kaasutusprosessin vaiheet eivät kuitenkaan aina etene edellä mainitussa järjestyksessä, vaan jokin vaihe saattaa alkaa ennen kuin edellinen vaihe on päättynyt. Näistä vaiheista alkulämpeneminen, kosteuden haihtuminen, pyrolyysi, pyrolyysikaasujen syttyminen sekä pelkistyminen ovat lämpöä kuluttavia proses-

seja ja poltto/palaminen vastaavasti on lämpöä luovuttava prosessi. Seuraavassa on kuvattu edellä mainittuja palamisen ja kaasutuksen vaihteita tarkemmin. (10, s. 13–15; 11, s. 41–42.)



**Puun palaminen ja lämmönkehitys. Lähde: Alakangas 1992**

*KUVA 5 Puun palaminen ja lämmönkehitys (11, s. 42)*

#### 4.1.1 Kuivuminen eli kosteuden haihtuminen

Kuivuminen eli kosteuden haihtuminen alkaa 100–105 °C:n lämpötilassa (kuva 6). Kosteuden haihtuminen vaatii lämpöä. Aluksi kostea polttoainekappale saavuttaa kuivumislämpötilan, minkä jälkeen suurin osa sen sisältämästä vedestä höyrystyy pois. Kuivumisen myötä polttoaineen lämpötila kohoaa ja alkaa pyrolyysivaihe. Kuivumisen vaihteita kuvaa kuva 6. Polttoaineen kosteus vaikuttaa oleellisesti pyrolyysiin ja palamiseen, sillä kosteuden kasvaessa syttyminen ja pyrolysoituminen hidastuvat. (11, s. 42.)



## Kosteuden haihtuminen



**Kosteuden haihtuminen alkaa 100–105 °C:n lämpötilassa. Kuivumista puun pinnassa tapahtuu jo alle 100 °C:ssa, koska puun sisällä voi korkeamman paineen vuoksi olla yli 100 °C. Lähde: Alakangas 1992**

*KUVA 6 Kosteuden haihtuminen (11, s. 43)*

### 4.1.2 Pyrolyysi eli terminen hajoaminen

Pyrolyysi eli terminen hajoaminen tapahtuu ilman happea, ja pyrolyysilla tarkoitetaan lämpötilan vaikutuksesta tapahtuvia hajoamisreaktioita (kuva 7). Palamisen myötä vapautuu lisää lämpöä, joka edesauttaa pyrolyysireaktioiden etene- mistä. Näissä eri lämpötiloissa tapahtuvissa reaktioissa puun ainesosat pilkkou- tuvat toisiksi yhdisteiksi. Esim. hemiselluloosa hajoaa noin 200–350 °C:ssa, selluloosa n.250–450 °C:ssa ja vähiten reaktiivinen ligniini 200–500 °C:ssa. Kaasuuntuminen hidastuu noin 400 °C:ssa haihtuvien aineiden poistuttua. (11, s. 43.)

## Pyrolyysi



**Pyrolyysi alkaa jo 100–105 °C:n lämpötilassa. Varsinainen aineksen hajoaminen alkaa 200 °C:n lämpötilassa. Lähde: Alakangas 1992**

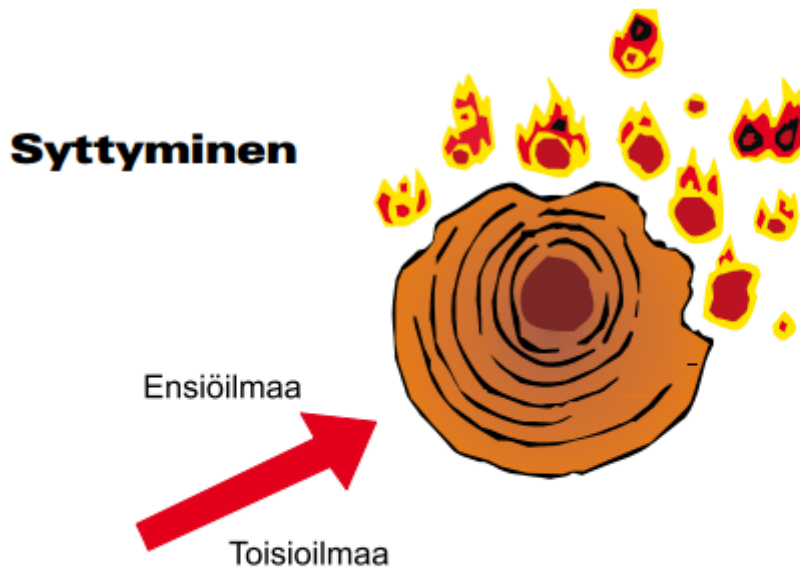
*KUVA 7 Pyrolyysi (11, s. 43)*

Pyrolyysituotteet voidaan jakaa karkeasti keveisiin hiilivetyihin ja tervoihin (rasfaat hiilivedyt) sekä palamistuotteisiin veteen ja hiilidioksidiin ja palamattomiin kaasuihin häkään ja vetyyn. Muodostuvat pyrolyysituotteet samoin kuin pyrolyysinopeus riippuvat merkittävästi lämpötilasta. Kun puuta lämmitetään hitaasti 800–900 °C:seen on pyrolysoituva osuus massasta noin 80 %, joka vastaa noin 50 %:a puun lämpöarvosta. Hitaassa pyrolyysissa polttoaine lämpenee hitaasti ja alhaiseen lämpötilaan (alle 500 °C) muodostaen runsaasti tervoja ja jäännöshiiltä. Mikäli lämpötilaa nostetaan nopeammin ja korkeammalle, sen seurauksena muodostuu enemmän keveitä hiilivetyjä ja vähemmän jäännöshiiltä. (11, s. 43.)

### 4.1.3 Pyrolyysikaasujen syttyminen

Puut syttyvät sen ympärille reaktiotuotteina syntyvien pyrolyysikaasujen vaikutuksesta siinä vaiheessa, kun reaktiotuotteiden lämmöntuotto ylittää lämpöhäviöt (kuva 8). Ympäristön lämpötila, kaasu-/happiseoksen suhde sekä mahdollinen ulkopuolinen energianlähde eli sytytyslähde ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat syttymiseen. Lisäksi syttymiseen vaikuttavat ratkaisevasti myös polttoaineen

kosteus, palakoko ja tulipesän lämpötila. Syntynyt kaasuseos syttyy palamaan ilman liekkiä noin 330 °C:ssa. (11, s. 43.)

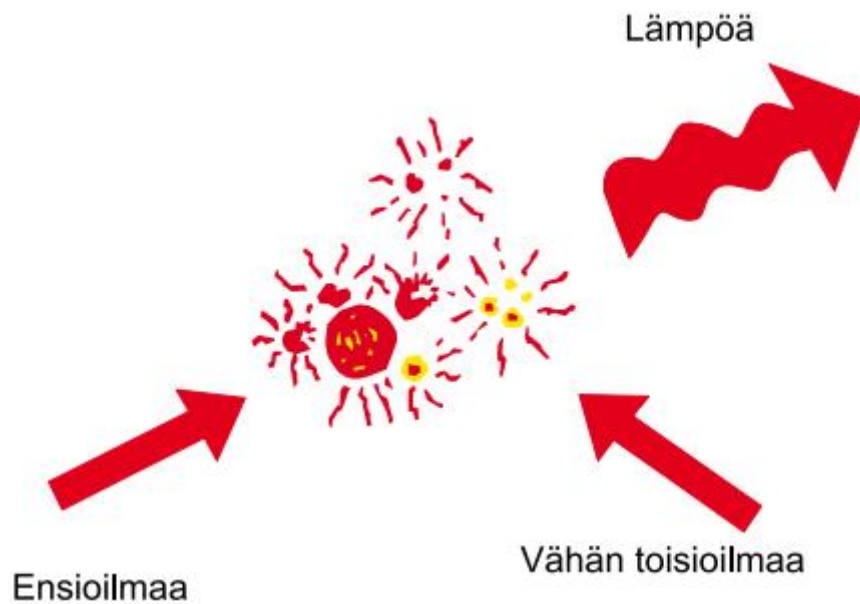


**Kun lämpötila nousee yli 180 °C:n, syttyvät kaasut hetkellisesti. Yli 225 °C:n lämpötilassa syntyvät kaasut jatkavat palamista itsenäisesti sytytyksen jälkeen. Lähde: Alakangas 1992**

*KUVA 8 Syttyminen (11, s. 43)*

#### **4.1.4 Jäännöshiilen palaminen**

Jäännöshiili muodostuu pyrolyysin edetessä ja polttoaineen C/H- suhteen kasvaessa. Jäännöshiilen palaminen (kuva 9) on prosessin hitain vaihe, ja se on liekitön palamisen vaihe, jossa palaminen eli polttoaineen hapettuminen tapahtuu polttoainekappaleen pintakerroksessa. Vaikka sen osuus on vain noin 10–30 % kuiva-aineesta, jäännöshiilellä on korkea lämpöarvo, joten sen palamisesta saatava energia on 25–50 % tuotetusta kokonaisenergiasta. (11, s. 44.)



**Jäännöshiili tuottaa 25–50 % tulipesään varastoituneesta energiasta. Jäännöshiilen palaminen ei tarvitse toisioilmaa juuri lainkaan, koska palaminen tapahtuu hiilloksessa tai sen pinnalla. Lähde: Alakangas 1992**

*KUVA 9 Jäännöshiilen palaminen (11, s. 44)*

#### 4.1.5 Pelkistyminen

Pelkistymisen seurauksena syntyvää raakakaasua muodostuu, kun pyrolyysissä ja palamisessa syntyneet kaasumaiset yhdisteet reagoivat keskenään sekä kiinteään hiileen kanssa. Kyseiset reaktiot tapahtuvat hiilen ja kaasufaasin sisältämien komponenttien välillä. (10, s. 15.)

Tärkein näistä reaktioista on vesikaasureaktio, jossa vesi hiilen kanssa reagoidessaan muodostaa vetyä ja hiilimonoksidia. Muita kaasutukseen liittyviä tärkeitä reaktioita ovat vesikaasuvaihtoreaktio, Bourduardin reaktio, hydrometa-naatioreaktio sekä metaanin muodostusreaktio. Lämpötilalla on suuri merkitys kyseisten reaktioiden reaktionopeuksiin, joidenka arvo kasvaa lämpötilan nousun myötä. Nämä reaktiot sekä reaktionopeudet määräävät pääasiassa raakakaasun koostumuksen. (10, s. 15.)

Kuten edellä kerrotusta käy ilmi, tuotekaasun syntyminen on monimutkainen prosessi ja siihen vaikuttavat monet tekijät. Syntyvän tuotekaasun yksi keskeinen ongelma on sen epäpuhtaus. Erityisesti pyrolyysissä syntyvät tervamaiset aineet tuottavat ongelmia tuotekaasun puhdistuksessa. Yleisellä tasolla voidaan sanoa tuotekaasun koostumuksen riippuvan kaasutettavasta aineesta, lämpötilasta sekä ilmakertoimesta (taulukko 1). Tuotekaasun lämpöarvo ilmakaasutuksessa on 4,0–6,0 MJ/m<sup>3</sup>n. (10, s.14.)

*TAULUKKO 1 Esimerkki puun tuotekaasun koostumuksesta (9)*

Aine		Osuus
		til-%
Metaani	CH <sub>4</sub>	1-6
Vetykaasu	H <sub>2</sub>	8-20
Häkä	CO	10-20
Hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	9-15
Typpikaasu	N <sub>2</sub>	42-56
Vesi	H <sub>2</sub> O	0-27

## 4.2 Kaasutusmenetelmiä

Polttoaineita voidaan kaasuttaa useilla erilaisilla menetelmillä ja niitä voidaan myös jaotella eri tavoin. Seuraavassa on esitelty yleisesti kaasutuksessa käytössä olevien ratkaisujen jaottelua ja GASEKin käyttämät menetelmät niihin liittyen.

### 4.2.1 Kaasuttimen paineistus

Kaasutus voi tapahtua paineistettuna, osittain paineistettuna tai paineistamattomana. Pienemmissä laitoksissa ja erityisesti biopolttoaineiden kaasutuksessa paineistamaton kaasutus on taloudellisempi ja stabiilimpi vaihtoehto. Tämän vuoksi GASEKin käyttämässä ratkaisussa kaasutusprosessi tapahtuu paineistamattomana. Paineistettua kaasutusta vastaavasti kehitetään isommissa laitoksissa (yli 50 MW:n sähköntuotanto), mutta lähes kaikki tekniikat ovat vielä demonstraatioasteella. (9.)

#### 4.2.2 Kaasutusaste

Kokonaiskaasutuksessa polttoaine kaasutetaan kokonaan. Osittaiskaasutuksessa osa polttoaineesta poistetaan jäännöshiilenä ja poltetaan erillisessä hiilikattilassa. Kivihiilellä kokonaiskaasutus on vaikeaa ja yleensä myös epätaloudellista, mutta puu- ja biopolttoaineilla kokonaiskaasutus on huomattavasti helpompi toteuttaa. GASEKin patentoiman ratkaisun ansiosta jäännöshiilen palaminen on lähes täydellistä ja jäännöshiilen korkea lämpöarvo on kokonaiskaasutuksessa saatu hyödynnettyä melkein optimaalisesti. (9.)

#### 4.2.3 Reaktortyyppi

Kaasutettaessa biomassaa yleisimmät reaktortyypit ovat kiinteäkerros- tai leijukerrosreaktori. GASEKin käyttämä kiinteäkerrosreaktori on reaktiotyypille ominaisesti pystymallinen ja siihen syntyy kerroksittain kuivumis-, pyrolyysi-, poltto- ja kaasutusvaiheet. (9.)

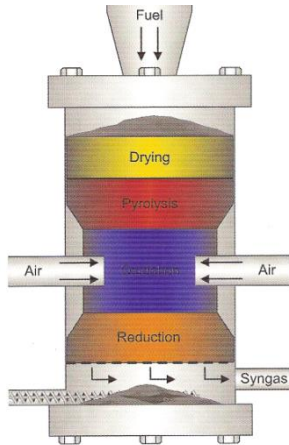
#### 4.2.4 Lämmöntuonti

Kaasutus vaatii lämpöä, joka yleensä tuotetaan osittaispoltolla (happi tai ilma). Biomassan kaasutuksessa prosessin kehittyminen on kohdistunut ilmakaasutukseen. Lämmöntuotantoon käytettävä ilma voidaan syöttää alle  $1\text{MW}_{\text{th}}$  laitoksissa myötävirtakaasutusta käyttäen ja  $1\text{--}30\text{MW}_{\text{th}}$  laitoksissa vastavirtakaasutusta käyttäen. Näiden lisäksi myös ristivirtauskaasutin on käytössä. (9.)

Kuvassa 10 on esitetty myötävirtakaasuttimen toimintaperiaate:

- ✓ Kaasuttavalla aineella ja polttoaineella on sama kulkusuunta.
- ✓ Polttoaine syötetään reaktorin yläosaan ja ilma, happi, vesihöyry tai niiden seos syötetään pyrolyysivaiheen jälkeen keski-/alaosaan, jolloin palamisvaihe alkaa.

- ✓ Syntynyt tuotekaasu poistuu reaktorin alaosasta. Tuhka vastaavasti poistuu pohjalta. (12.)



KUVA 10 Myötävirtakaasutuksen periaate (10, s. 24)

GASEKin kaasuttimessaan käyttämä tekniikka perustuu edellä kuvattuun myötävirtakaasuttimen toimintaperiaatteeseen, mutta tämän lisäksi osa ilmasta syötetään arinan alle, jolloin jäännöshiili saadaan poltettua puhtaaksi tuhkaksi. Tässä niin sanotun Twin fire -kaasuttimessa alta syötetty ilma muodostaa alapolton palovyöhykkeen arinalle ja kaasutusvyöhykkeen sen päälle ja muodostaa hiilikaasua. Twin fire -kaasuttimen tuotekaasu on siis hiilikaasun ja puukaasun sekoitusta (taulukko 2). Myötävirtakaasuttimeen verrattuna twin fire -kaasuttimen kaasu sisältää vähän enemmän häkää ja vähän vähemmän vetyä.

TAULUKKO 2 Puu- ja hiilikaasun koostumus (GASEK)

Komponentti		Puu %:a tilavuudesta	Hiili %:a tilavuudesta
Hiilimonoksidi	CO	17-22	28-32
Hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	9-15	1-3
Vetykaasu	H <sub>2</sub>	12-20	4-10
Metaani	CH <sub>4</sub>	2-3	0-2
Typpikaasu	N <sub>2</sub>	50-54	55-65
Lämpöarvo	Mj/m <sup>3</sup>	5,0-5,9	4,5-5,6

Yllä olevasta taulukosta käy ilmi puu- ja hiilikaasun koostumus sekä lämpöarvo. GASEKin ratkaisuihin ilmakaasutuksessa syntyvän kuivan tuotekaasun lämpöarvo on 5–5,5 MJ/m<sup>3</sup>n.

### 4.3 Kaasun poltto (lämmöntuotanto)

Kaasut polttoaineina soveltuvat moniin käyttötarkoituksiin. Niiden polttotekniikka on varsin yksinkertaista, sillä poltinpoltoissa polttoaine ja -ilma ovat samassa olomuodossa, joten suuttimen rakenteen tehtäväksi jää ainoastaan kaasujen sekoitus sekä sytytys. Tämän lisäksi etuna kaasun poltinpoltoissa on laaja säätöalue, pienet päästöt, hyvä palamishyötysuhde ja palamisen helppo valvonta. Kaasun koostumuksella on kuitenkin merkitystä polttolaitteen rakenteelle, ja tämän vuoksi yleensä jokaiselle kaasulle suunnitellaan omanlaisensa polttimet (kuva 11). (13.)



*KUVA 11 Nu-Way M Series Gas Burner*

Kaasumaisten polttoaineiden palamisnopeuteen vaikuttaa polttoaineen ja palamisilman sekoittuminen polttimessa. Hyvä palamistulos on lopputulos polttimen sekä tulipesän yhteisvaikutuksesta, ja sen edellytys on, että liekki mahtuu tulipesään ja mahdolliset muut häiriötekijät (esim. muiden polttimien aiheuttamat häiriöt) on eliminoitu. Yleisimpiä polttoainekaasuja ovat maakaasu, nestekaasu, kaatopaikkakaasu, puukaasu ja erilaiset biokaasut. (13.)



## **4.4 Kaasumoottori ja kaasuturbiini (CHP)**

### **4.4.1 Kaasumoottori**

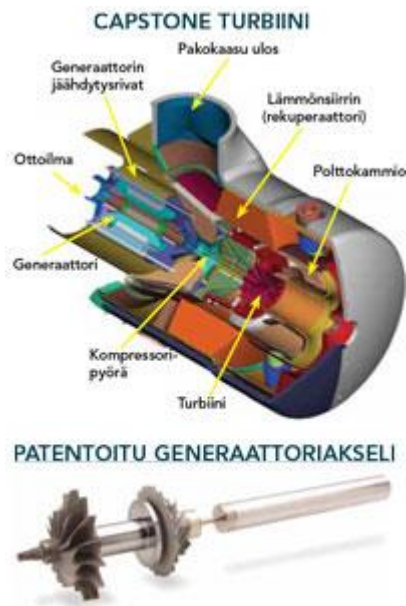
Kaasumoottorilla tarkoitetaan polttomoottoria, jossa käytetään kaasumaista polttoainetta. Ensimmäiset varsinaiset polttomoottorit olivatkin juuri kaasukäyttöisiä. Nestemäisten polttoaineiden ja siihen keskittyvän tekniikan vuoksi kaasu jäi ajansaatossa taka-alalle. Nykyiset tiukkenevat päästörajat ovat kuitenkin aikaansaaneet esim. moottorivoimaloissa dieselöljyn sekä raskaan polttoöljyn käytön vähenemisen ja maakaasun yleistymisen. (14.)

Varsinkin hiukkaspäästöt ovat kaasumoottoreissa pienemmät kuin dieselmoottoreissa. Kaasumoottorin käyttökohteita ovat sähköntuotannon lisäksi muun muassa laivat sekä taajamien linja-autot. Voimaloiden koot vaihtelevat muutamasta kymmenestä kilowatista yli sataan megawattiin yleisimmän voimalaitoksen ollessa alle 1 megawattia. (14.)

Kaasumoottorin päävaiheet ovat puristus, paisunta sekä kaasun poisto, ja ne voidaan jakaa otto- sekä diesel-prosessiin perustuviin moottoreihin. Dieselprosessiin perustuvat puristussytytyksellä toimivat moottorit ovat kaksoispolttoainemoottoreita ja otto-prosessiin perustuvat kipinäsytytyksellä toimivat moottorit voidaan puolestaan jakaa stökiometrisellä seossuhteella toimiviin ja laihaseosmoottoreihin. (14.)

### **4.4.2 Kaasuturbiini**

Kaasuturbiineja alettiin käyttää 1930-luvulla lentokonekäytössä, josta se yleistyi 1950-luvulta alkaen myös sähköntuotantoon. Viime vuosikymmenten aikana kaasuturbiinivoimalaitokset ovat muodostuneet yleisimmäksi sähköntuotannon laitostyypiksi, ja niitä käytetään runsaasti sekä huippu- että peruskuormalaitoksina laitosten kokojen vaihdellessa teholtaan alle yhden megawatin mikroturbiineista (kuva 12) suurempiin 250 megawatin voimalaitoksiin. (15.)



*KUVA 12 Capstone C200-mikroturbiini ja generaattoriakseli*

Kaasuturbiinien käytettävyys ja luotettavuus ovat korkeatasoista, ja ne ovat ominaisinvestoinneiltaan edullisia. Kaasuturbiinin polttoaineeksi sopivat parhaiten kaasumaiset ja nestemäiset polttoaineet; maakaasu, öljy, biokaasu, kaasutuksen ja riittävän puhtaat teollisuuden prosessikaasut. (15.)

## 5 PIENIMUOTOINEN SÄHKÖNTUOTANTO

Tässä opinnäytetyössä on keskitytty käsittelemään syöttötariffijärjestelmään (luku 6) hyväksyttyä pienimuotoisen sähköntuotannon määritelmän piiriin kuuluvaa voimalaitosta. Pienimuotoinen sähköntuotanto-käsite tarkoittaa sähkömarkkinalain määritelmän mukaisesti enintään 2 megavolttiamppeerin tehoista voimalaitosta tai usean voimalaitoksen muodostamaa kokonaisuutta. (16, s. 5.)

Tätä suurempiin voimalaitoksiin sovelletaan sähkömarkkinoiden, sähköverkon sekä sähköveron osalta pitkälti samoja sääntöjä kuin teollisen mittakaavan sähköntuotantoon. Koska pienimuotoisen sähköntuotannon voimalaitokset sijaitsevat yleensä lähellä käyttökohdetta ja suoraan jakeluverkon kautta menevä sähköntuotanto menee paikalliseen tai alueelliseen käyttöön, tuotannosta voidaan käyttää myös nimitystä hajautettu tuotanto. (16, s. 5.)

### 5.1 Yleisimmät tuotantotavat

Yleisimmät ja merkittävimmät pienimuotoisen sähköntuotannon tuotantotavat ovat tällä hetkellä tuulivoima, pienvesivoima, aurinkosähkö sekä bioenergia. (16, s. 6.)

Tuulivoiman, pienvesivoiman ja aurinkosähkön sähköntuotannon tuotantomuodot eivät edellytä polttoaineen hankintaa ja siten hintariskiä sekä polttoainelogistiikkaan liittyviä tekijöitä ei tarvitse huomioida. Lisäksi tuotanto on hyvin pitkälle automatisoitua eikä voimalaitos tarvitse pysyvää miehitystä. Näissä tuotantotavoissa tuotannon kokonaiskustannuksista investointikustannukset ovat merkittävät, kun taas käyttökustannukset ovat yleensä edulliset. (16, s. 6.)

Biopolttoaineilla pienimuotoinen sähköntuotanto tapahtuu yhteistuotantona lämmön kanssa eli CHP-laitoksissa, joissa voidaan käyttää erilaisia polttoaineratkaisuja sekä teknologioita. Tuotannossa voidaan käyttää muun muassa kaasu- ja dieselmootoreita, mikro- tai höyryturbiineja. (16, s. 8.)

## 5.2 Pienimuotoisen sähköntuotantolaitoksen käyttötavat

Pienimuotoiset sähköntuotantolaitokset voidaan jakaa käyttötavan mukaisesti kolmeen pääryhmään:

- ✓ voimalaitoksiin, joita ei ole liitetty jakeluverkkoon
- ✓ voimalaitoksiin, jotka toimivat rinnan yleisen jakeluverkon kanssa, mutta sähkön syöttö verkkoon estetty
- ✓ voimalaitoksiin, jotka toimivat rinnan yleisen jakeluverkon kanssa ja tuotanto voidaan osittain tai kokonaan siirtää jakeluverkkoon (16, s. 6).

## 5.3 Pienimuotoisen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon

Ydinvoimaa lukuun ottamatta sähkön tuottaminen on kaikille vapaata toimintaa ja voimalaitos voi liittyä yleiseen sähköverkkoon sekä myydä sähköä avoimilla sähkömarkkinoilla, mikäli laitos täyttää viranomaisten sekä verkonhaltijan asettamat vaatimukset. Vaatimukset kattavat muun muassa sähköturvallisuuslain säädännön asettamat vaatimukset sekä vaatimukset voimalaitoksen sekä verkon suojaamisesta häiriötilanteissa. Jakeluverkkoon siirrettävän sähkön on täytettävä sitä koskevien standardien laatuvaatimukset. (16, s. 10, 20, 22.)

Verkonhaltijaa puolestaan sitovat sähkömarkkinalaissa määritetyt yleiset velvoitteet sekä hinnoitteluperiaatteet. Näistä velvoitteista liittämisvelvoite velvoittaa liittämään verkkoonsa sellaiset voimalaitokset, jotka täyttävät verkonhaltijan tekniset vaatimukset ja ehdot. (16, s. 18.)

Sähkön myynti ei edellytä toimilupaa, ja tuotetun sähkön voi myydä sähköyhtiölle, meklarille tai vaikkapa toiselle pienkäyttäjälle. Jakeluverkonhaltija ei voi ostaa sähköä, mutta verkonhaltijaa koskeva siirtovelvollisuus vastaavasti velvoittaa verkon kapasiteetin rajoissa myymään siirtopalveluita kohtuullista korvausta vastaan. Lisäksi verkonhaltijan tulee järjestää sähkön mittaus kohtuullista korvausta vastaan. (16, s. 18,26.)

## 6 SYÖTTÖTARIFFIT

Uusiutuvalla energialla tapahtuvaa sähköntuotantoa edistetään Suomessa myöntämällä tuotantotukena niin sanottua syöttötariffia metsähakkeella, puupolttoaineella, biokaasulla ja tuulivoimalla tuotetulle sähkölle. Järjestelmä otettiin käyttöön Suomessa vuonna 2011. Puupolttoainevoimalaitoksille tariffi on voimassa, kunnes järjestelmään hyväksytyjä puupolttoainevoimaloiden määrä ylittää 50 ja voimaloiden generaattoreiden yhteenlaskettu nimellisteho ylittää 150 megavolttiamppeeria. Metsähakevoimalaitoksille vastaavaa rajoitusta ei ole. Päästäkseen syöttötariffin piiriin on voimalaitoksen täytettävä lain asettamat vaatimukset, jotka vaihtelevat tuotantomuodoittain sekä energialähteittäin. (16, s. 15,16.)

### 6.1 Syöttötariffin hyväksynnän vaatimukset puupolttoaine- ja metsähakevoimalaitoksille

Puupolttoainevoimalaitokselle syöttötariffin piiriin hyväksymisen edellytyksenä on, että voimalaitos on uusi ja sen nimellisteho on 0,1–8 MVA. Sähköntuotantoon tulee olla yhdistettynä myös lämmöntuotanto. Yhden megavolttiamppeerin ja sitä pienempitehoisten puupolttoainevoimalaitoksen hyötysuhteen tulee olla vähintään 50 prosenttia. Tätä suurempien voimalaitosten hyötysuhteen tulee olla vähintään 75 prosenttia. Puupolttoainevoimalaitokselle muut valtiontuet eivät ole mahdollisia. (16, s. 15.)

Metsähakevoimalaitokselle edellytykset ovat lievempiä ja merkittävin niistä on minimiraja nimellisteholle, joka on 0,1 megavolttiamppeeria. Metsähakevoimalaitoksen osalta myös muut valtiontuet ovat mahdollisia. Tämä antaa mahdollisuuden hakea uusiutuvia energialähteitä hyödyntäviin ratkaisuihin energiatukea, jonka suuruus voi olla enimmillään 40 % investoinnista. (16, s. 15.)

On kuitenkin huomioitavaa, että energiatuen myöntäminen on tapauskohtaista, mutta syöttötariffin piiriin voimalaitos on hyväksyttävä, mikäli se täyttää kriteerit. Syöttötariffin piiriin päässeelle voimalaitokselle maksetaan tariffia 12 vuotta, ja sen suuruus vaihtelee tuotantomuodon ja energialähteen mukaan. Seuraavassa

on tarkemmin kerrottu GASEKin ratkaisuun liittyvistä syöttötariffimahdollisuuksista. Syöttötariffin tuki määräytyy seuraavasti. (16, s. 16.)

## 6.2 Puupolttoainevoimalan syöttötariffin määräytyminen ja lämpöpreemio

Puupolttoaine, biokaasu- sekä tuulivoimaloille, jotka on hyväksytty syöttötariffin piiriin, maksetaan tavoitehinnan ja sähkön markkinahinnan kolmen kuukauden keskiarvon erotukseen perustuvaa tukea (taulukko 3). Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että sähkön tuotannolle on määritelty tavoitehintaa 83,50 € / MWh ja tavoitehintaan oikeuttavasta tuotannosta maksetaan syöttötariffina tavoitehinnan ja kolmen kuukauden sähkön markkinahinnan (3 kk:n keskiarvo) erotus. Sähkön markkinahinnan kolmen kuukauden keskiarvo vastaavasti määräytyy Nord Pool Spot AS:n ylläpitämän Suomen aluehinnan keskiarvon (Elspot-hinta) perusteella, ja se lasketaan kyseisen tariffijakson tuntihintojen aritmeettisena keskiarvona. Kuitenkin, jos kyseinen kolmen kuukauden sähkön markkinahinnan keskiarvo tukikuukautena alittaa 30 euroa megawattitunnilta, syöttötariffina tuotannosta maksetaan tavoitehintaa vähennettynä 30 euroa megawattitunnilta. (17, s. 3.) (18, s. 1.)

TAULUKKO 3 Sähkön hinta ja syöttötariffi (18, s. 1)

Tariffijakso	Sähkön markkinahinnan keskiarvo [€/MWh]	Syöttötariffi, kun tavoitehintaa on 83,50 €/MWh [€/MWh]	Syöttötariffi, kun tavoitehintaa on 105,30 €/MWh [€/MWh]	Tuntien lukumäärä, jolloin sähkön markkinahinta on ollut negatiivinen
3/2011 (1.7. - 30.9.2011)	43,40	40,10	61,90	0
4/2011 (1.10. - 31.12.2011)	37,39	46,11	67,91	0
1/2012 (1.1. - 31.3.2012)	42,50	41,00	62,80	0
2/2012 (1.4. - 30.6.2012)	32,41	51,09	72,89	0
3/2012 (1.7. - 30.9.2012)	30,85	52,65	74,45	0
4/2012 (1.10. - 31.12.2012)	40,83	42,67	64,47	0
1/2013 (1.1.-31.3.2013)	42,09	41,41	63,21	0
2/2013 (1.4.-30.6.2013)	39,93	43,57	65,37	0
3/2013 (1.7.-30.9.2013)	42,70	40,80	62,60	0
4/2013 (1.10.-31.12.2013)	39,92	43,58	65,38	0
1/2014 (1.1.-31.3.2014)	35,24	48,26	70,06	0
2/2014 (1.4.-30.6.2014)	34,55	48,95	70,75	0
3/2014 (1.7.-30.9.2014)	37,83	45,67	67,47	0
4/2014 (1.10.-31.12.2014)	36,43	47,07	68,87	0
1/2015 (1.1.-31.3.2015)	32,10	51,40	73,20	0
2/2015 (1.4.-30.6.2015)	25,83	53,50	75,30	0

Mikäli syöttötariffin piiriin hyväksytty biokaasu- tai puupolttoainevoimalaitos tuottaa lämpöä hyötykäyttöön, sille voidaan maksaa lämpöpreemiota, jonka määrä biokaasuvoimaloille on 50 euroa megawattitunnille ja puupolttoaine-voimaloille vastaavasti 20 euroa megawattitunnille. (17, s. 3; 18, s. 1.)

### 6.3 Metsähakevoimalan syöttötariffin ja kaasutinpreemion määräytyminen

Tuotantotukeen oikeuttavasta sähkön tuotannosta maksettava muuttuva tuotantotuki määräytyy turpeen veron ja päästöoikeuden markkinahinnan keskiarvon mukaan. Päästöoikeuden markkinahinnan keskiarvo määräytyy aritmeettisena keskiarvona Euroopan unionin jäsenmaiden yhteisellä huutokauppapaikalla käytyjen päästöoikeuksien huutokauppojen selvityshinnan perusteella. Päästöoikeuden markkinahinnan keskiarvo lasketaan kutakin tariffijaksoa vastaavan kolmen kuukauden selvityshintojen aritmeettisena keskiarvona. (17, s. 4.)

Energiaviraston helmikuun 2. päivä 2015 päivätyn maksatusohjeen mukaisesti vuonna 2015 metsähakkeella tuotetusta sähköstä maksetaan syöttötariffia enimmillään 15,87 euroa megawattitunnilta, kun turpeen vero on 3,40 euroa megawattitunnilta ja päästöoikeuden hinta korkeintaan 10 euroa hiilidioksiditonilta. Metsähakkeen syöttötariffi alkaa laskea, jos päästöoikeuden hinta nousee yli 10 euroon. Mikäli päästöoikeuden hinta nousee yli 20,94 euroon, ei syöttötariffia enää makseta metsähakkeella tuotetulle sähkölle. Myöskään niiltä tunneilta, jolloin sähkön markkinahinta on ollut negatiivinen, ei syöttötariffia makseta. Taulukko 4 selventää metsähakevoimalaitoksen syöttötariffin laskentaa. (17, s. 4.)

Kaasutinpreemio määräytyy turpeen veron ja päästöoikeuden markkinahinnan keskiarvon mukaan, ja sitä voidaan maksaa siltä osin, kuin sähkö on tuotettu kaasuttimella kaasutetusta metsähakkeesta pölypolttokattilassa. (17, s. 4.)

Energiaviraston helmikuun 2. päivä 2015 päivätyn maksatusohjeen mukaisesti kaasutinpreemiota vuodelta 2015 maksetaan 2,74 euroa megawattitunnilta, mikäli päästöoikeuden hinta on sillä tasolla, että metsähakkeelle maksetaan syöttötariffia. Mikäli päästöoikeuden hinta nousee yli 20,94 euron, kaasutinpreemio on aluksi 3,73 euroa megawattitunnilta. Tämän jälkeen se laskee tasaisesti päästöoikeuden hinnan noustessa. Kun päästöoikeuden hinta on 23,70 euroa hiilidioksiditonilta, kaasutinpreemiota ei enää makseta. Taulukko 4 selventää kaasutinpreemion määrän laskentaa (17, s. 4.)

**TAULUKKO 4 Metsähakkeen syöttötariffin ja kaasutinpreemion määräytyminen (18, s. 2)**

Päästöoikeuden kolmen kuukauden keskiarvohinta [€/tCO <sub>2</sub> ]	Turpeen vero (€/MWh)	Syöttötariffin määrä [€/MWh]	Kaasutinpreemion määrä (€/MWh)
alle 10	3,4	15,87	2,74
10 – 20,94	3,4	35,65 – 1,824 x turpeen vero – 1,358 x päästöoikeuden kolmen kuukauden keskiarvohinta	2,74
20,95 – 23,70	3,4	syöttötariffia ei makseta	32,184 – 1,358 x päästöoikeuden kolmen kuukauden keskiarvohinta
yli 23,70	3,4	syöttötariffia ei makseta	kaasutinpreemiota ei makseta

Metsähakevoimalaitoksen tariffin määräytymisen laskenta, enimmäishinnat sekä muuttujat (päästöoikeuden hinta / turpeen vero) ovat vaihdelleet vuosien saatossa. Sen seurauksena maksettava sähkötariffi on myös vaihdellut, kuten taulukosta 5 käy ilmi.

**TAULUKKO 5 Muuttujien arvot ja tukimäärät (18, s. 2)**

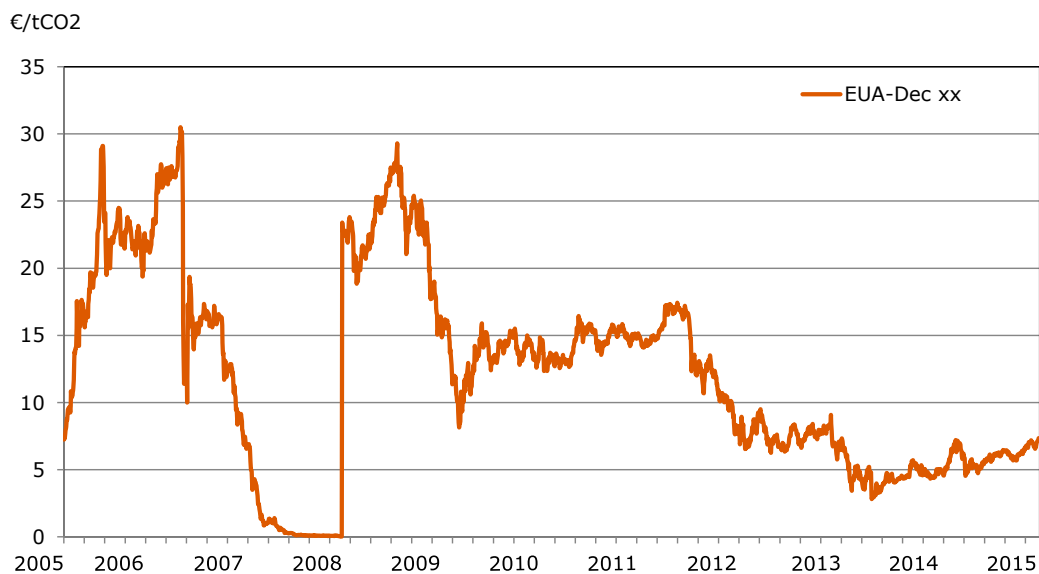
Tariffijakso	Päästöoikeuden markkinahinnan keskiarvo [€/tCO <sub>2</sub> ]	Turpeen vero (€/MWh)	Syöttötariffin määrä [€/MWh]	Kaasutinpreemion määrä (€/MWh)
1/2013 (1.1. - 31.3.2013)	4,61	4,9	13,13	5,47
2/2013 (1.4.-30.6.2013)	3,87	4,9	13,13	5,47
3/2013 (1.7.-30.9.2013)	4,57	4,9	13,13	5,47
4/2013 (1.10.-31.12.2013)	4,71	4,9	13,13	5,47
1/2014 (1.1.-31.3.2014)	5,84	4,9	13,13	5,47
2/2014 (1.4.-30.6.2014)	5,25	4,9	13,13	5,47
3/2014 (1.7.-30.9.2014)	6,04	4,9	13,13	5,47
4/2014 (1.10.-31.12.2014)	6,48	4,9	13,13	5,47
1/2015 (1.1.-31.3.2015)	6,96	3,4	15,87	2,74

## 6.4 Yhteenvetoa syöttötariffista

Energiaviraston johtava asiantuntija Kari Lavaste vahvisti tiedon, jonka mukaan sähkön tuottaja voi itse ratkaista hakeeko hän voimalan syöttötariffijärjestelmään puupolttoaine- vai metsähakevoimalana, mikäli voimala täyttää sekä metsähake- että puupolttoainevoimalan edellytykset (19). Edellä on pyritty molempien osalta avaamaan syöttötariffiin liittyvät tulomahdollisuudet. Mikäli voimalaitos haetaan puupolttoainevoimalaitosta koskevan tariffin piiriin, syöttötariffi on kahdeksitoista vuodeksi taattu, mutta investointituki ei tuolloin ole mahdollista.



Kun mietitään investointia metsähakevoimalaitoksena, tulisi investointipäätöstä tehtäessä ottaa huomioon riittävän pitkältä aikaväliltä edellä mainitut turpeen verotuksen, päästöoikeuden hinnan (kuva 13) sekä laskentatavan muutokset. Tulevaisuuden ennustaminen on mahdotonta, mutta kuten alla olevasta kymmenen vuoden kuvaajasta käy ilmi, lähimenneisyydessä on useampi pitkä ajanjakso, jolloin päästöoikeuden hinnan vuoksi maksettava syöttötariffi olisi ollut pieni tai jäänyt kokonaan maksamatta. Voimalaitoksen hakemista metsähakevoimalaitosta koskevan tariffin piiriin tukee mahdollisuus hakea investoinnille investointitukea.



*KUVA 13 Energiavuosi 2014 (Sähkö) päästöoikeuden hinta (20)*

Päätökseen näiden vaihtoehtojen välillä vaikuttavat pääsääntöisesti investoinnin suuruus, rahoitusratkaisut sekä investointituen ja syöttötariffin merkitys takaisinmaksuaikoihin. Myös sähkön omakäytön osuus ja sen mahdolliset vaihtelut on syytä ottaa huomioon laskelmissa.

## 7 INVESTOINTITUET UUSIUTUVALLE ENERGIALLE

Uusiutuvan energian investointeihin myönnettävä energiatuki on syöttötariffijärjestelmän ohella merkittävä tukimuoto, jolla pyritään edistämään erityisesti uuden teknologian käyttöönottoa sekä markkinoille tuloa. Energiatukea säätelee valtioneuvoston asetus 1063/2012, ja tukea voidaan myöntää sellaisiin ilmasto- ja ympäristömyönteisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, joilla edistetään uusiutuvaa energiatuotantoa tai sen käyttöä. Tällaisia investointihankkeita ovat muun muassa uuden teknologian demonstraatiohankkeet, polttoaineen tuotantohankkeet, pienet lämpökeskus- ja sähköntuotantohankkeet. Lisäksi tukea voi saada energiatuotannon ja käytön tehostamista sekä tuotannon ja käytön ympäristöhaittojen vähentämistä koskeviin selvityshankkeisiin. Energiatuen myöntämisen edellytyksenä on lisäksi, että tuen saaja rahoittaa hankkeesta vähintään 25 prosenttia sellaisella rahoituksella, johon ei liity julkista tukea. (21.)

### **Tukien enimmäismäärät**

Uusiutuviin energialähteisiin ja energiatehokkuuteen sekä ympäristöhaittojen vähentämiseen liittyvälle investointihankkeelle voi myönnettävän tuen osuus hyväksyttävistä kustannuksista olla enintään 30 prosenttia. Mikäli investointihanke sisältää uutta teknologiaa, tukea voidaan korottaa 10 prosenttia. Selvityshankkeen enimmäistuki vastaavasti on 40 prosenttia. GASEKlta saamani kokemukseräisen tiedon mukaan tukiprosentti GASEKin voimalaitosratkaisuissa on poikkeuksetta ollut 25 prosenttia. (21.)

## **8 GASEK CHP-VOIMALAITOS**

Seuraavassa on käyty yleisellä tasolla läpi GASEK Oy:n CHP-voimalaitoksen toimituskokonaisuuden sisältö ja siihen liittyviä seikkoja koskien hakeyrittäjälle suunniteltua ratkaisua. Yksityiskohtaisempi toimituskokonaisuuden sekä toimittussisällön moduulien kuvaus sisältyy varsinaiseen voimalaitostarjoukseen ja voi poiketa tässä esitetystä. Rajapintana toimitukselle on moottorilta ulos tuleva sähkönsyöttö, minkä vuoksi tässä selvityksessä ei oteta kantaa tekniikoihin tai kustannuksiin laitoksen liittämistä sähköverkkoon.

### **8.1 Hakevarasto ja laitosrakennus**

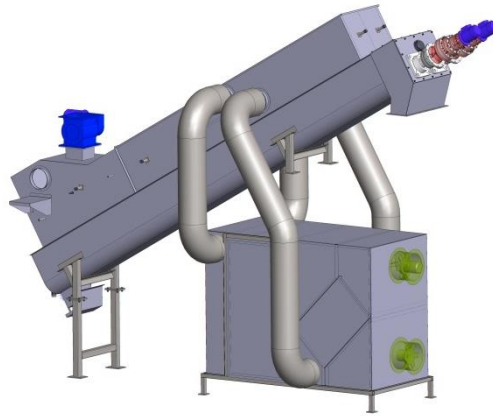
Hakevarasto on yleensä syytä sijoittaa mahdollisimman lähelle käyttöpaikkaa ja varmistaa logistisesti käytettävän hakkeen helppo täyttö varastoon. Tässä tapauksessa laitos tulisi sijaitsemaan hakeyrittäjän omistaman metsäpalstan läpi kulkevan tien vieressä, jossa samaisessa kohdassa palstan läpi kulkee myös paikallisen verkkoyhtiön sähkölinja. Lisäksi hakeyrittäjällä on tarve saada voimalaitoksen käyttämän ja myytävän hakkeen varasto, voimalaitos sekä kaluston huolto-/säilytystila samaan rakennukseen, jolloin suunniteltavan rakennuksen koko on otettava huomioon rakennuksen suunnittelussa.

### **8.2 Kuivuri ja sen mukanaan tuomat hyödyt**

Hukkalämmöllä toimiva kuivuri mahdollistaa hakkeen energian hyödyntämisen mahdollisimman hyvin, kun tuoreesta puusta tehty hake saadaan kuivattua nopeasti sekä kustannustehokkaasti. Riippuen hakkeen saapumistilan kosteudesta kuivatun hakkeen käyttö voimalassa parantaa tehoa jopa 20 prosenttia. Tämän vuoksi voimalaitoksen ”ylijäämälämmön” hyötykäyttö ja ohjaaminen kuivurille parantaa merkittävästi koko CHP-laitoksen tehokkuutta.

GASEK Dryer 450-kuivurilla (kuva 14) on mahdollisuus tuottaa rekkalastillinen kuivattua haketta päivässä. Energiatehokkuuden ansiosta kuivausprosessi ei vaadi suuria hukkalämpömääriä, jolloin voimalaitoksen tarvitseman energiamäärän ylittävä kuivattu hake on hakeyrittäjän mahdollista myydä eteenpäin. Kuivattu hake on kevyempää ja siten halvempaa kuljettaa, joten hakeyrittäjän

on mahdollista kartoittaa nykyisen kustannustason perusteella potentiaalista asiakaskuntaansa aiempaa laajemmalta alueelta. Tämän lisäksi kuivattu hake ei homehdu varastoitaessa ja joissain tapauksissa hakkeesta on myös mahdollista saada parempi myyntihinta.

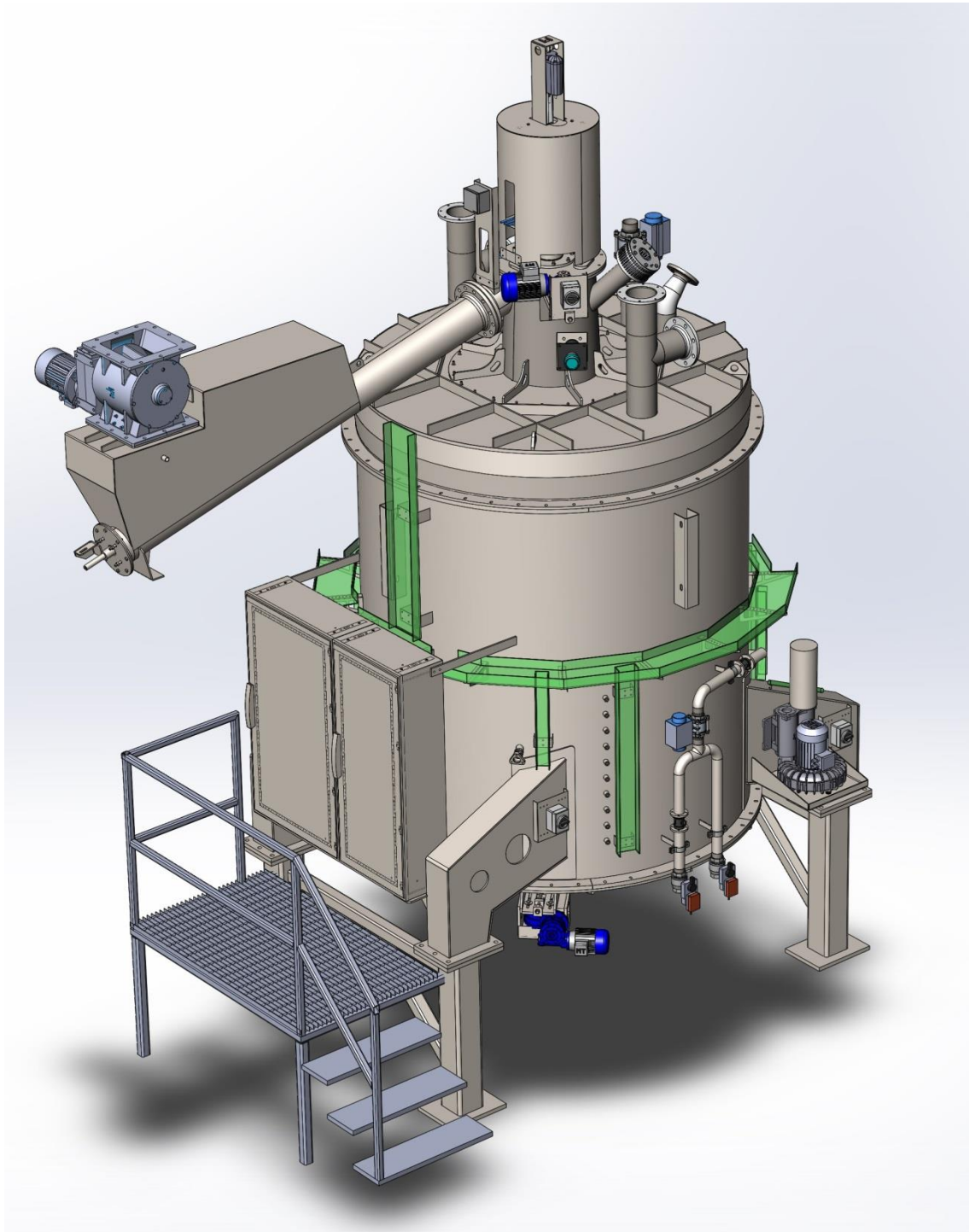


*KUVA 14 GASEK Dryer 450-kuivuri*

Voimalaitoksessa syntyvä kuivausprosessin yli jäävä lämpöenergia voidaan käyttää rakennuksen lämmittämiseen, ja mikäli kuivataan haketta vain voimalaitoksen käytön tarpeisiin, lämpö vapautuu kokonaisuudessaan rakennuksen lämmityskäyttöön.

### **8.3 Kaasutin**

CHP-laitoksen kaasuttimessa tärkeintä on sen tuottama teho, toimintavarmuus ja syntyvän raakakaasun koostumus ja puhtaus. Esiselvityksen kohteena olevaa laitosta on tarkoitus käyttää kaupalliseen sähköntuotantoon, jolloin syöttötäriffilaitoksen sähköntuotannon tulisi olla vähintään 0,1 MVA. Tässä ratkaisussa on päädytty esittämään GASEKin 1 MW:n kaasutinta (kuva 15), jolloin saatava sähköteho on noin 200 kW.



*KUVA 15 GASEK 1MW:n kaasutin*

Tuotekaasun ”oikeaan” tasalaatuiseen koostumukseen sekä puhtauteen vaikuttavat muun muassa laitoksessa käytetty teknologia, toimintavarmuus ja polttoaine. Tuotekaasun tasalaatuisella koostumuksella sekä puhtaudella taataan CHP-laitoksen moottorin toimintavarmuus.

## 8.4 Puhdistuslaitteisto ja jäähdytys

Tuotekaasusta pyritään puhdistamaan ympäristöä kuormittavien päästöjen lisäksi myös laitetta kuormittavat päästöt. Primäärisillä eli kaasutuksen aikaisilla puhdistusmenetelmillä pystytään saamaan kohtuullisen puhdasta tuotekaasua, mutta varsinkin CHP-laitoksen moottorikäyttö vaatii sekundäärisen eli kaasutuksen jälkeisen puhdistuksen.

GASEKin ratkaisussa puhdistus tapahtuu heti kaasuttimen jälkeen ilman tuotekaasun jäähdytystä, jolloin tuotekaasun lämpötila on vielä noin 500 asteista. Tämän vuoksi puhdistuslaitteiston valinnassa ratkaisevaa on lämpötilan kesto. Käytettäväksi puhdistusmenetelmäksi on tässä tapauksessa valikoitumassa niin sanottu kuumapuhdistus, jossa alkalimetallit sekä kiintoaineshiukkaset poistetaan sorbettien ja keraamisten kuumasuodattimien (kuva 16) avulla. Kuuma-puhdistuksen mahdollistaman korkean lämpötilan lisäksi sen etu on ympäristöystävällisyys, sillä menetelmä ei vapauta ilmaan tai veteen tuotekaasusta poistettuja epäpuhtauksia. Kaasun puhdistuksen jälkeen tuotekaasu jäähdytetään vaiheittain lämmönvaihtimien ja pesurin avulla 30–40 asteeseen.



*KUVA 16 Porvair Pulsejet gas filtration*

## 8.5 Moottori

Tärkein osa CHP-laitoksen sähköenergian tuottamisessa on moottori ja sen soveltuminen kaasutuksesta saatavan tuotekaasun koostumukselle. Kaasumoottorilla (kuva 17) toimivan voimalaitoksen etuina ovat lyhyt rakennusaika, korkea hyötysuhde, nopea käynnistys ja laaja polttoainevalikoima. Kaasumoottori sietää muita sähköntuotantomuotoja paremmin tuotekaasun epäpuhtauksia.

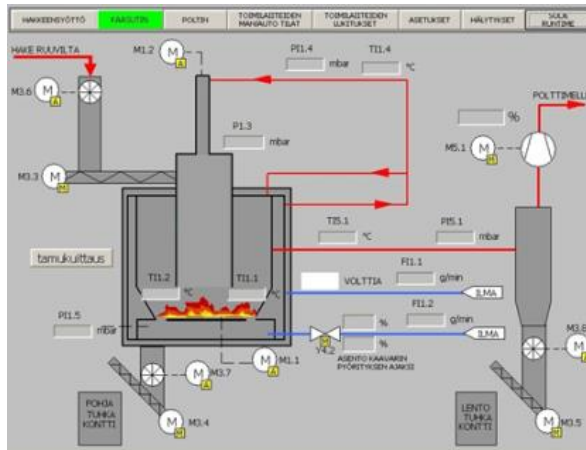


*KUVA 17 Jenbacher Type 2 (300–350 kW)*

Biokaasun kaasutukseen soveltuvia moottoreita valmistaa usea moottorivalmistaja, ja mikäli projekti etenee tarjousvaiheeseen, moottori valitaan tästä tarjonnasta laitoksen yksityiskohtien tarkentuessa.

## 8.6 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka sisältää kaiken toimitussisällön vaatiman logiikan, muun muassa sähkö- ja automaatiokeskukset, kaapeloinnit, valvontajärjestelmät (kuva 18), PC:n sekä tarvittavat ohjelmistot. CHP-voimalaitoksen prosessit tulevat olemaan pitkälti automatisoituja ja ohjelmavallinnat tehdään laitoksen vallitsevan tuotantotarpeen mukaisesti.



KUVA 18 Havainnekuva laitoksen valvomoliittymästä

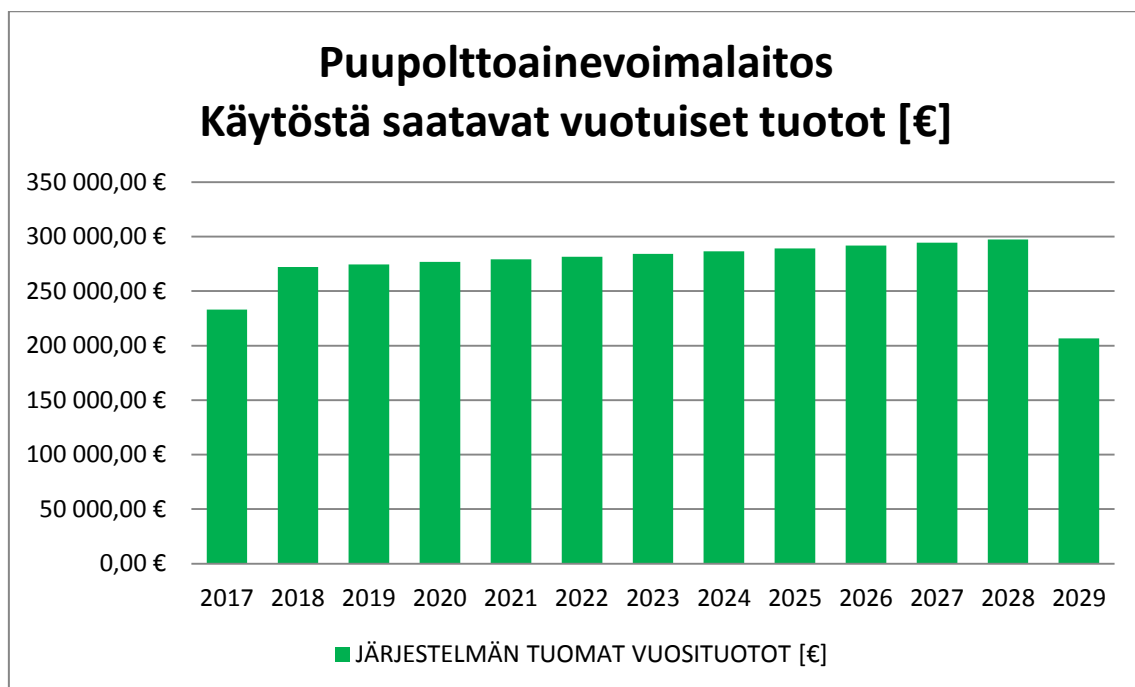


## 9 KANNATTAVUUSLASKURI

Tämä opinnäytetyö sekä kannattavuuslaskuri käsittelee biopolttoaineista hakkeella toimivaa ratkaisumallia. Kannattavuuslaskurilla voidaan laskea tuottoja ja kustannuksia myös muissa pientuotantolaitoksissa, jotka täyttävät tuotantotariffin pienimuotoisen sähköntuotannon määritelmät. Tämä edellyttää vain lähtöarvojen muuttamista.

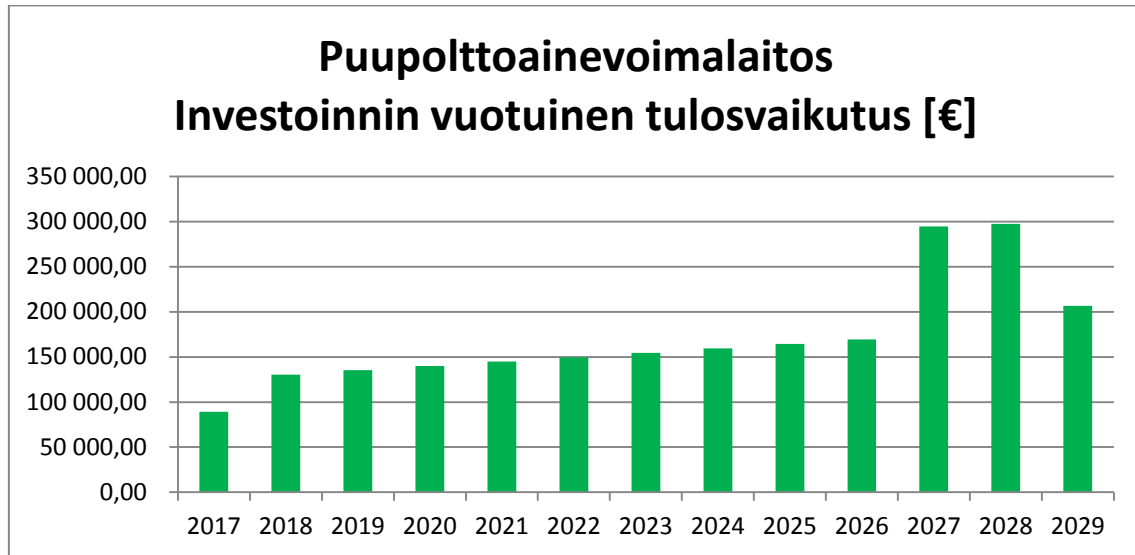
Kannattavuuslaskuri pyrkii antamaan kuvan käytönaikaisista rahavirroista (kuva 19) sekä siitä, miten investoinnin rahoitus ja investointiratkaisut vaikuttavat investoinnin kannattavuuteen (kuva 20). Laskurissa on otettu huomioon tuotantotariffin 12 vuoden maksatusaika sekä sen jälkeinen vuosi, jolloin pystytään arvioimaan voimalaitoksen kannattavuus myös ilman tuotantotukia.

Laskuri koostuu lähtötietotaulukosta sekä kolmesta eri osiosta, joissa käydään läpi metsähakkeen tuotantotariffeihin liittyvät puupolttoaine- ja metsähakevoimalaitosvaihtoehdot. Ensimmäinen osio käsittelee eri tuotantotariffeihin perustuvien voimalaitosten käytönaikaisia tuotantokustannuksia sekä tuottoja.



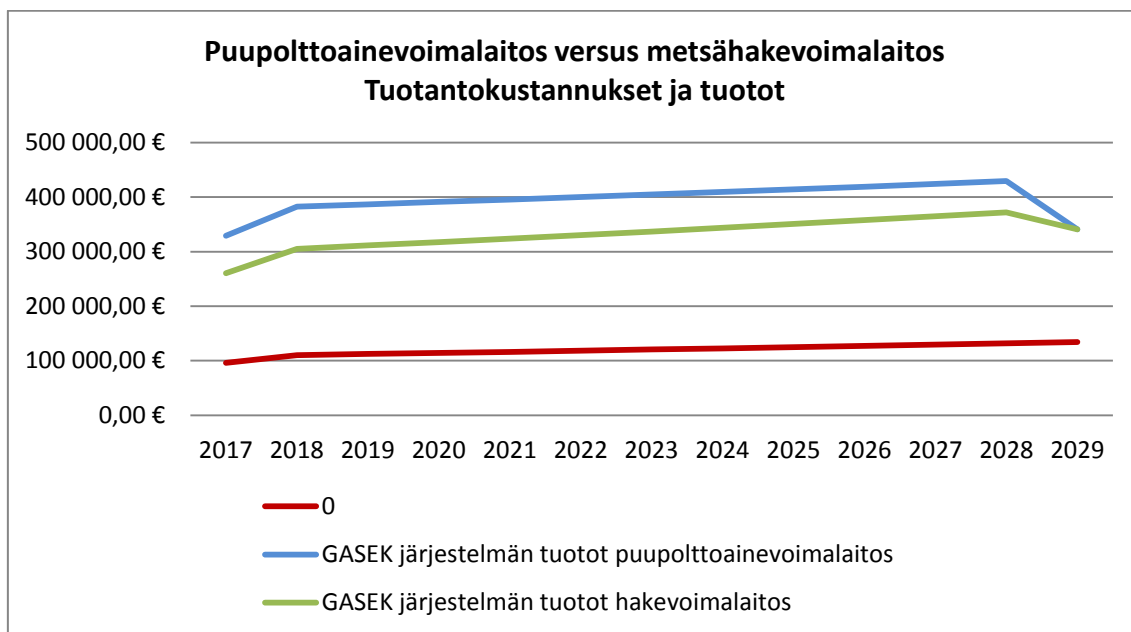
*KUVA 19 Pylväsdiagrammi Puupolttoainevoimalaitos; Käytöstä saatavat vuotuiset tuotot [€]*

Toisessa osiossa on laskuihin otettu mukaan edellä mainittujen lisäksi investoinnin rahoitukseen liittyviä vaihtoehtoja ja niihin perustuvat investointikustannukset.



*KUVA 20 Pylväsdiagrammi Puupolttoainevoimalaitos: Investoinnin vuotuinen tulosvaikutus [€]*

Kolmas osio kokoa yhteen edellisten osioiden pääkohdat ja mahdollistaa nopean yleisvertailun puupolttoainevoimalaitoksen ja metsähakevoimalaitoksen kesken. Kuvassa 21 on esimerkki puupolttoaine- ja metsähakevoimalaitoksen tuotantokustannusten ja tuottojen vertailusta.



*KUVA 21 Voimalaitosten tuottojen vertailu*

Seuraavassa lyhyet kuvaukset kannattavuuslaskurin sisältämistä pääkohdista.

## 9.1 GASEK-voimalaitoksen investointikustannus

GASEK voimalaitoksen investointikustannus sisältää itse voimalaitosinvestoinnin lisäksi kaikki sen rakentamiseen sekä lämpö-/sähköverkkoon liittämisen kustannukset. Investointiin liittyy poikkeuksetta myös rahoitus ja tässä tapauksessa myös mahdollinen investointituki, joita on käsitelty seuraavaksi.

### 9.1.1 Pääomalaina

Pääomalainalla tarkoitetaan laskurissa investoinnin rahoittamista omalla rahalla tai ulkopuolisen pääomasijoittajan toimesta. Takaisinmaksuajan lisäksi on pääomalainalle molemmissa tapauksissa hyvä määritellä realistinen ja kohtuullinen korko. Pääomalaina voidaan käsitellä niin sanottuna bullet-lainana tai tasalyhennyslainana.

### 9.1.2 Rahoituslaitoslaina

Rahoituslaitoslaina ei ota kantaa, mistä rahoitus tulee, mutta rahoituslaitoslainalle on tässä laskurissa määritetty ainoastaan tasalyhennysmahdollisuus ja laina-ajaksi on määritetty sama aika kuin pääomalainalla. Tämän on katsottu riittävän tarpeeksi tarkkaan analyysiin. Näiden kytkeminen toisiinsa mahdollis-

taa lisäksi samaan aikajänteeseen liitetyn ROI:n (Return on Investment) eli sijoitetun pääoman tuoton laskennan eri voimalaitostariffeille (kuva 22).

$$\text{Sijoitetun pääoman tuotto} - \% = \frac{100 \times [\text{nettotulos} + \text{rahoituskulut} + \text{verot}(12 \text{ kk})]}{\text{sijoitettu pääoma keskimäärin}}$$

$$\text{Sijoitettu pääoma} = \text{oma pääoma} + \text{korolliset velat}$$

*KUVA 22 Sijoitetun pääoman tuoton laskenta*

### 9.1.3 Metsähakevoimalaitoksen investointituki

Mahdolliselle metsähakevoimalaitoksen investointituelle on laskurissa määriteltä käsittely- ja maksatusprosessin ajaksi kaksi vuotta, jonka jälkeen tuki kirjautuu tulokseen tuotoksi. Investointituen määrää on käsitelty luvussa 7.

### 9.2 GASEK-voimalaitoksen tuotantokustannukset

Koska voimalaitoksessa tuotetaan sekä lämpöä että sähköä ja niistä molemmista on mahdollista saada myös välillisesti tai suoraan tuottoa, myös kustannukset on pyritty kohdistamaan tuotettuun energiamuotoon.

Lämmöntuotannon kustannukset koostuvat tässä asiakastapauksessa kuivurin kuivatuskustannuksista sekä myyntiin tai omaan tarpeeseen tuotetusta lämmöntuotannosta. Kuivurin kustannusten osalta ei ole nähty aiheelliseksi lähteä erittelemään sähköntuotantoon menevää osuutta voimalaitoksen käyttämästä hakeen energiakustannuksesta.

Kiinteät kustannukset on laskettu investointiin suhteutettuna ja muuttuvat kustannukset on laskettu voimalaitoksen vuosittaiseen kokonaistuotantoon suhteutettuna.

### 9.3 GASEK-voimalaitoksen tuotot

Voimalaitoksen lämmön- sekä sähköntuotannon tuotot on eritelty seuraavasti.

Lämmöntuotannossa on otettu huomioon kuivemman ja siten kevyemmän hakeen säästöt kuljetuskustannuksissa. Taulukko 6 kuvastaa tätä.

TAULUKKO 6 Hake-erän (120 i-m3) massa ja energiasisältö eri kosteusprosentteilla (22, s. 15)

Kosteus %	Hake-erän massa kg	Hake-erän energiasisältö MWh	Hake-erän massa (auton kantavuus huomioitu) kg	Hake-erän energiasisältö (auton kantavuus huomioitu) MWh
55	42667	88,6	<b>37000</b>	<b>76,9</b>
50	38400	91,5	<b>37000</b>	<b>88,2</b>
45	34909	93,9	34909	93,9
40	32000	95,9	32000	95,9
35	29538	97,5	29538	97,5
30	27429	99,0	27429	99,0
25	25600	100,2	25600	100,2
20	24000	101,3	24000	101,3
15	22588	102,2	22588	102,2
10	21333	103,1	21333	103,1
5	20211	103,8	20211	103,8
0	19200	104,5	19200	104,5

Seuraavan sivun taulukosta 7 puolestaan käy ilmi mahdollisuus ja perustelut myyntihakkeen paremmalle hinnalle. Kosteuden poistuminen parantaa polton hyötysuhdetta ja lisäksi kuivemmalla hakkeella on myönteinen vaikutuksensa voimalaitoksen toimintavarmuuteen.

*TAULUKKO 7 Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen vuotuisen metsäenergiapotentiaalin energiasisältö ja energian kulutukseen perustuvat myyntitulot (22, s. 19)*

<b>Kosteus %</b>	<b>Energiapuun energiasisältö TWh/v</b>	<b>Energian myynnistä saatavat tulot milj. €/v</b>
55	1,60	49,60
50	1,65	51,22
45	1,69	52,54
40	1,73	53,65
35	1,76	54,58
30	1,79	55,38
25	1,81	56,08
20	1,83	56,68
15	1,85	57,22
10	1,86	57,70
5	1,87	58,12
0	1,89	58,51

Kuivuria lukuunottamatta lämmöntuotantoa ei ole käsitelty tuottona, koska lämpöä ei tässä asiakastapauksessa mene myyntiin ja oman käytön tarvetta ilman voimalaitosta ei ole. Laskuriin on kuitenkin lisätty osio, jolla on mahdollisuus ottaa huomioon mahdolliset lämmönmyynnistä saatavat tuotot tai saatavat säästöt, mikäli nykyinen ostolämpö/lämmöntuotanto korvataan hakkeella.

Sähköntuotannossa on otettu huomioon puupolttoainevoimalaitoksen sekä metsähakevoimalaitoksen tuotantotariffien erilaiset määräytymisperusteet. Metsähakevoimalaitostariffissa laskuri ei kuitenkaan huomioi mahdollisia tukiajan aikana muuttuvia tekijöitä liittyen maksatusperusteiden muutoksiin, turpeen verotukseen ja päästöoikeuden hintaan.


#### **9.4 Yhteenvetoa kannattavuuslaskurin tulokseen vaikuttavista asioista**

Kannattavuuslaskuri ja sen oikeellisuus perustuvat pitkälti lähtötietoina annettaviin arvioihin laitoksen tulevasta toiminnasta. Tämän vuoksi näitä arvoja syötettäessä kannattaa huolellisesti laskea tai puntaroida kulloiseenkin ratkaisuun paras arvio tulevasta toiminnasta. Mikäli jokin voimalaitokseen liittyvä lähtöarvo on pitkälti spekulatiivinen, suosittelen käyttämään kyseisiä arvoja syötettäessä riittäviä korjauskertoimia, jottei kannattavuuslaskuri anna liian positiivista tulosta. Seuraavassa on käyty läpi laskurin tarvitsemat lähtöarvot sekä näiden mahdolliset vaikutukset.

## 10 KANNATTAVUUSLASKURIIN SYÖTETTÄVÄT LÄHTÖTIEDOT

Seuraavissa alaluvuissa on tarkempi läpikäynti taulukkoon 8 syötettävistä asioista.

### TAULUKKO 8 Näkymä lähtötiedot-taulukkoon syötettävistä tiedoista

INVESTOINNIN KANNATTAVUUSLASKURI				Täydennä keltaiset solut									
<div><div></div><div>GASEK</div></div>													
Voimalaitoksen perustiedot:				Kuivurin perustiedot :									
INVESTOINTI	1 200 000	EUR		Kuivatuskapasiteetti [i-m3/h] max	3,45								
METSÄHAKEVOIMALAITOKSEN INVESTOINTITUKI	25 %			Voimalaitoksen käytön vaatima kuivattu hake	1,18								
Laitoksen kokonaisteho	1,00	MW		Voimalaitoksen käytön ylittävä käyttöaste	0 %								
Käyttöaika vuodessa	7000	tuntia		Kuivurin tuotanto [i-m3/h] "käyttöaste" huomioden	1,18								
Hyötysuhde	90 %			Kuivurin (omasta tuotannosta) tarvitsema energia [%]	20 %	/ tuotanto							
Sähkötönnön osuus tuotannosta	25 %	0,225	MW										
Lämpötönnön osuus tuotannosta	75 %	0,675	MW										
CHP-laitoksen lähtötietoja:				Kuivatun hakkeen lähtötiedot									
Sähköntuotannon omakäyttö [% tuotannosta]	10 %			Hakkeen kosteus ennen kuivausta	50 %								
Ostosähkön kulutus [% tuotannosta]	0,25 %			Kostean hakkeen lämpöarvo [MWh/i-m3]	0,76	MWh/i-m <sup>3</sup>							
Muut kiinteät kulut % investoinnista	1,00 %			Kostean hakkeen "tiheys"	320,00	kg/i-m <sup>3</sup>							
Muut muuttuvat kulut % polttoainekulusta	1,00 %			Hakkeen kosteus kuivauksen jälkeen	20 %								
				Kuivatun hakkeen lämpöarvo [MWh/i-m3]	0,84	MWh/i-m <sup>3</sup>							
				Kuivatun hakkeen "tiheys"	200,00	kg/i-m <sup>3</sup>							
Puupolttoaine kustannusten lähtötiedot:				Sähkön hinnan lähtötiedot									
Hakkeen omakustannushinta	13,00	€/MWh		Sähkön markkinahinta 3kk keskiarvo	36,43	€/MWh							
Hakkeen omakustannushinta kuivauksen jälkeen	11,74	€/MWh		Arvio sähkön hinnan kehityksestä	2,00 %	vuosi							
Arvio hakkeen "omakustannehinnan" kehityksestä	2,00 %	vuosi		Ostosähkön hinta (siirto+hankinta)	100	€/MWh							
Hakkeen myyntihinta toimitettuna	21	€/MWh		Arvio ostosähkön hinnan kehityksestä	2,00 %	vuosi							
Arvio hakkeen myyntihinnan kehityksestä	2,00 %	vuosi		Sähkön myynnin yhteydessä ostajan perimä preemio	5 %								
Kuivemman hakkeen myyntihinta (spekulatiivinen)	25,00	€/MWh											
OPTIO OMAN LÄMMÖNTUOTANNON KORVAAMINEN HAKKEELLA TAI LÄMMÖNTUOTANTO MYNTIIN													
Onko kyseessä nykyisen lämmöntuotannon korvaaminen hakkeella (1) vai lämmöntuotanto myyntiin (2)				2	1. Korvattavan lämmöntuotantomuodon kustannus	81,50 €	0,00 € €/MWh						
					2. Lämmöntuotannon myyntihinta	50,00 €	50,00 € €/MWh						
					Arvio lämmöntuotannon hinnan kehityksestä		2,00 % vuosi						
VOUSITUOTANNON LÄHTÖARVO	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Vuosituotannon muutokset		15 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Käyttöaika vuodessa	7000	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050

### 10.1 CHP-voimalaitoksen perustiedot

Laskuriin syötetään CHP-laitoksen perustietoihin seuraavat asiat:

- ✓ investoinnin kokonaiskustannus ilman mahdollisia investointitukia
- ✓ metsähakevoimalaitoksen kyseessä ollessa mahdollinen investointituen prosentti

Uusiutuviin energialähteisiin ja energiatehokkuuteen liittyvissä investoinneissa uuden teknologian ollessa kyseessä on maksimi tuki 40 % mutta GASEKlta saamani tiedon mukaan tuki on vakiintunut 25 %:iin.



Laskuriin syötetään laitoksen kokonaisteho, hyötysuhde sekä sähköntuotannon prosenttiosuus tuotannosta. Näillä tiedoilla saadaan laskettua sähkön ja lämmöntuotannon kapasiteetti.

Lisäksi laskuriin syötetään ensimmäisen käyttövuoden käyttöaika tunteina. Mikäli kyseessä on uuden teknologian laitos, oletuksena on, että ensimmäisinä käyttövuosina laitos vaatii vielä hienosäätöä, jotta päästään tavoiteltuihin käyttötunteihin. Käyttötunteja syöttäessä on syytä olla realistinen ja välttää syöttämästä teoreettisia maksimi käyttötunteja lähtötietoihin, jos tekniikka ei ole vakiintunut. Tällöin ensimmäisen vuoden käyttötunneissa on otettava edellä mainittu huomioon ja mahdolliset vuosituotannon muutokset on syötettävä erilliselle riville.

## **10.2 CHP-voimalaitoksen lähtötiedot**

CHP-voimalaitoksen perustiedot -kohtaan syötetään sähköntuotannon omakäyttö ja mahdollinen ostosähkön kulutus prosentteina vuosituotannosta. Kuluista syötetään kiinteät kulut prosentteina investoinnista ja lisäksi kulutietoihin syötetään paras arvio muuttuvista kuluista prosentteina vuosittaisista tuotantokustannuksista.

## **10.3 Puupolttoainekustannusten lähtötiedot**

Puupolttoainekustannusten lähtötiedot -kohtaan syötetään hakkeen omakustannehintaa (saapumistilassa) euroina megawattituntia kohden ja prosentuaalinen arvio kustannuksen kehityksestä tulevina vuosina. Tämän jälkeen laskuri laskee hakkeen omakustannushinnan euroina megawattituntia kohden kuivurin jälkeen.

Haakeyrittäjän saapumistilan omakustannehintaa on laskettu Motivan sivuilta löytyvän kokopuuhakkeen kustannuslaskentaohjelmalla (23.) ja tulokseksi tässä asiakastapauksessa on saatu 13 euroa megawattitunnilta. Kuivatun hakkeen omakustannushintaan vaikuttavat saapumistilaisen hakkeen kosteus sekä hakkeen kosteus kuivauksen jälkeen. Nämä määrittävät kuivatun hakkeen lähtötiedoissa.

## 10.4 Hakkeen myyntihinta

Koska kyseinen kannattavuuslaskuri on tehty hakeyrittäjän toimintoihin perustuen, hakkeen myyntihinta -kohtaan syötetään hakkeen myyntihinta [€/MWh] toimitettuna voimalaitokselle sekä prosentuaalinen arvio myyntihinnan kehityksestä tulevana vuosina. Myyntihinnan lähtötietona laskennassa on käytetty 21,1 €/MWh, joka on Pöyryn ilmoittama 12 kk:n liukuva keskiarvo vuodelle 2014.

Kuten aiemmin (luvussa 9.3) on käynyt ilmi, haketta ostavan voimalaitoksen voi olla perusteltua maksaa kuivemmasta hakkeesta hakeyrittäjälle parempaa hintaa. Tämän vuoksi laskurissa on otettu huomioon mahdollisuus laskea mitä tuottoja mahdollinen kuivemman hakkeen parempi myyntihinta hakeyrittäjälle toisi. Myös tähän syötetään prosentuaalinen arvio myyntihinnan kehityksestä tulevana vuosina.

## 10.5 Kuivurin perustiedot

Kuivurin perustietoina syötetään valmistajan tietoihin perustuva kuivurin kuivauskapasiteetin maksimi-arvo, joka tässä laskurissa käsitellään irtokuutioina tunnissa.

Laskuri laskee kuivatun hakkeen lämpöarvon ja voimalaitoksen tehon perusteella laitoksen tarvitseman kuivatun hakkeen määrän. Tämä määrä ilmoitetaan irtokuutioina tunnissa.

Voimalaitoksen käytön ylittävä käyttöaste määrittelee, minkä verran haketta kuivurista saadaan yli voimalaitoksen oman käytön. Mikäli investoija käyttää kuivuria pelkästään voimalaitoksen oman käytön vaatiman määrän kuivaamiseen, niin käyttöasteeksi syötetään nolla prosenttia. Vastaavasti kuivattaessa haketta maksimimäärä käyttöasteeksi syötetään luvuksi sata prosenttia.

Kuivuri käyttää voimalaitoksen lämmöntuotantoa kuivausprosessiinsa. Tässä tapauksessa kuivurin tarvitsema energia pysyy vakiona suhteessa kuivatun hakkeen määrään. Tämän vuoksi kuivurin käyttämä energia määritellään prosentteina kuivurin tuotannosta.

## 10.6 Kuivatun hakkeen lähtötiedot

Kuivatun hakkeen lähtötiedot -kohdassa määritellään arviot hakkeen saapumistilaiselle kosteudelle sekä kosteudelle kuivausprosessin jälkeen. Saapumistilan kosteusprosentin perusteella laskuri hakee oikean saapumistilaisen hakkeen lämpöarvon sekä ”tiheyden”. Kuivurin jälkeisen kosteusprosentin perusteella laskuri hakee vastaavasti kuivatun hakkeen lämpöarvon sekä ”tiheyden”. Laskuri hakee tiedot alla olevasta taulukosta 9, jonka arvot ovat suuntaa antavia ”keskiarvotietoja” ja perustuvat Tuomas Hakosen ja Jussi Laurilan julkaisuun ”Metsähakkeen kosteuden vaikutus polton ja kaukokuljetuksen kannattavuuteen” (22, s. 15.).

*TAULUKKO 9 Hake-erän massa, tiheys ja energiasisältö eri kosteusprosentteilla*

Hake-erän (hakekuorma 120 i-m3) massa, tiheys ja energiasisältö eri kosteusprosentteilla							
Kosteus	MWh/i-m <sup>3</sup>	MWh / kiinto m <sup>3</sup>	Hake-erän massa	Hake-erän energiasisältö MWh	"Tiheys" [kg/i-m <sup>3</sup> ]	Massa (kantavuus huomioiden)	Hake-erän energiasisältö MWh
55 %	0,738	1,85	42667	88,6	355,56	37000	76,8
50 %	0,763	1,91	38400	91,5	320,00	37000	88,2
45 %	0,783	1,96	34909	93,9	290,91	34909	93,9
40 %	0,799	2,00	32000	95,9	266,67	32000	95,9
35 %	0,813	2,03	29538	97,5	246,15	29538	97,5
30 %	0,825	2,06	27429	99,0	228,58	27429	99,0
25 %	0,835	2,09	25600	100,2	213,33	25600	100,2
20 %	0,844	2,11	24000	101,3	200,00	24000	101,3
15 %	0,852	2,13	22588	102,2	188,23	22588	102,2
10 %	0,859	2,15	21333	103,1	177,78	21333	103,1
5 %	0,865	2,16	20211	103,8	168,43	20211	103,8
0 %	0,871	2,18	19200	104,5	160,00	19200	104,5

## 10.7 Sähkön hinnan lähtöarvot

Sähkön markkinahinnan kolmen kuukauden lähtöarvon perusteella määräytyvät sähkön tuotantotariffiin tuotot. Ostosähkön hintaan syötetään sekä siirron että hankinnan yhteenlaskettu hinta. Molempiin on lisäksi mahdollisuus syöttää arvio hinnan prosentuaalisesta kehityksestä tulevina vuosina.

## 10.8 Nykyisen lämpöenergiamuodon korvaaminen hakelämmöllä tai lämmöntuotanto myyntiin

Mikäli tarkoitus on korvata nykyinen lämpöenergian osto- tai tuotantomuoto CHP-voimalaitoksen lämmöntuotolla tai myydä CHP-laitoksessa syntyvä läm-

möntuotanto, lasketaan tähän kohtaan annettavien tietojen perusteella syntyvät tuotot ja säästöt.

Tässä kohdassa valitaan, onko kyse nykyisen energiamuodon korvaamisesta, jolloin syötetään nykyisen energiamuodon kustannus euroissa megawattitunnille, vaiko lämmönmyynnistä, jolloin syötetään lämmönmyyntihinta.

## 10.9 Investointiin, rahoitukseen ja kannattavuuden laskemiseen liittyvät lähtöarvot

Tähän (taulukko 10) siirtyvät aiemmat laitosinvestointia koskevat tiedot mukaan lukien mahdolliset investointitukea koskevat prosentit, joiden perusteella laskuri laskee nettoinvestoinnin puupolttoaine- ja metsähakevoimalaitokselle.

Investoinnin rahoitukselle määritellään oman pääoman tai pääomalainan osuus prosentteina investoinnista sekä korko ja takaisinmaksuaika. Tähän kohtaan määritellään lisäksi lainanlyhennystyyppi- eli onko kyseessä tasalyhennyslaina vai kertalyhennys- eli bullet-laina.

*TAULUKKO 10 Näkymä lähtötiedot-taulukkoon syötettävistä investointia koskevista tiedoista*

METSÄHAKEVOIMALAITOS					PUUPOLTTOAINEVOIMALAITOS				
GASEK CHP-VOIMALAITOS		1 200 000 €			GASEK CHP-VOIMALAITOS		1 200 000 €		
MAHDOLLINEN INVESTOINTITUKI		25 %	300 000 €		INVESTOINTITUKI EI MAHDOLLINEN		0,00 €		
NETTOINVESTOINTI		900 000 €			NETTOINVESTOINTI		1 200 000 €		
			</						

Kuten aiemmin on todettu, rahoituslaitoslainan maksu tapahtuu tasalyhennyksinä ja samassa aikataulussa kuin mitä pääomalainalle on määritelty. Tämän vuoksi ainoa syötettävä asia on korkoprosentti.

Investointituen laina on laskurissa määritelty kertalyhenteiseksi bullet-lainaksi ja maksatusaika vastavaksi. Myös tähän lähtötietoihin syötetään ainoastaan lainan korkoprosentti.

Laina-ajan korko oletetaan maksettavan kaikissa lainoissa ja kaikilla lainatyypeillä vuosittain.

Investoinnin kannattavuuden laskentaa varten syötetään markkinakoron korkoennuste, jonka perusteella laskuri laskee puupolttoaine- ja metsähakevoimalaitosinvestoinnille euromääräisen kannattavuuden ja sijoitetun pääoman tuoton.

# 11 KANNATTAVUUSLASKURIN TULOKSET

Edellä kerrottuihin lähtötietoihin perustuen kannattavuuslaskuri laskee molemmille voimalaitostyypeille sekä käyttöön että investoinnin kannattavuuteen perustuvat taulukot sekä yhteenvedon näistä taulukoista. Taulukot sisältävät koh- tuullisen määrän tietoa ja tämän vuoksi on suotavaa lähestyä kannattavuuslas- kurin tuloksia eli osioita raportissa esitetyssä järjestyksessä, jolloin tieto syve- nee asteittain.

On syytä huomioda, että raportin sisältämät eri osioihin liittyvät näkymät eivät kuvaa oikeaa investointihanketta vaan näkymillä on pyritty ainoastaan havain- nollistamaan kyseisestä osiosta löytyvät tiedot.

## 11.1 OSIO I: CHP-voimalaitoksen käytönaikaiset tuotantokustannukset sekä tuotot

Ensimmäinen osio käsittelee eri tuotantotariffeihin perustuvien voimalaitosten käytönaikaisia tuotantokustannuksia sekä tuottoja (taulukko 11).

### TAULUKKO 11 Näkymä Käytöstä saatavat vuotuiset tuotot

</

Tämä osio antaa mahdollisuuden tarkastella yksityiskohtaisesti (taulukko 12) käyttöön liittyviä kustannusrakenteita ilman investointiin liittyviä aspekteja.

TAULUKKO 12 Näkymä CHP-hakevoimalaitoksen käyttö tarkempi kustannus-rakenne

KÄYTÖN KULUIJEN JA TUOTTOJEN TARKEMPI ERITTELY: LÄMMÖNTUOTANTO														
Kuivurin kuivatuskustannukset														
Lämmön kulutus tehosta [MWh]	20 %	1556	1789	1789	1789	1789	1789	1789	1789	1789	1789	1789	1789	1789
Hakkeen "omakustannushinta" [€/MWh]		12 €	12 €	12 €	12 €	13 €	13 €	13 €	13 €	14 €	14 €	14 €	15 €	15 €
Kuivatuksen vuosikustannus[€]		18 266 €	21 426 €	21 854 €	22 291 €	22 737 €	23 192 €	23 656 €	24 129 €	24 612 €	25 104 €	25 606 €	26 118 €	26 640 €
Muut kuivurin muuttuvat kustannukset	1,00 %	183 €	214 €	219 €	223 €	227 €	232 €	237 €	241 €	246 €	251 €	256 €	261 €	266 €
KOKONAISVUOSIKUSTANNUS [EUR]		18 449 €	21 640 €	22 073 €	22 514 €	22 965 €	23 424 €	23 892 €	24 370 €	24 858 €	25 355 €	25 862 €	26 379 €	26 907 €
Lämmöntuotanto lämmitykseen tai myyntiin														
Lämmön kulutus tehosta [MW]		3694	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249
Hakkeen "omakustannushinta" [€/MWh]		12 €	12 €	12 €	12 €	13 €	13 €	13 €	13 €	14 €	14 €	14 €	15 €	15 €
Kuivatuksen vuosikustannus[€]		43 381 €	50 886 €	51 904 €	52 942 €	54 001 €	55 081 €	56 183 €	57 306 €	58 453 €	59 622 €	60 814 €	62 030 €	63 271 €
Muut lämmöntuotannon muuttuvat kustannukset	1,00 %	434 €	509 €	519 €	529 €	540 €	551 €	562 €	573 €	585 €	596 €	608 €	620 €	633 €
KOKONAISVUOSIKUSTANNUS [EUR]		43 815 €	51 395 €	52 423 €	53 472 €	54 541 €	55 632 €	56 745 €	57 879 €	59 037 €	60 218 €	61 422 €	62 651 €	63 904 €
GASEK järjestelmän tuomat säästöt lämmityksessä														
Lämmitykseen tarvittava teho		3694	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249
Korvattavan lämmöntuotantomuodon kustannus [€ / MWh]		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Korvattavan lämmöntuotantomuodon kustannus [€ / vuosii]		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Muut korvattavan lämmöntuotannon muuttuvat kust 1,00 %		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Korvattavan lämmöntuotantomuodon kustannus yhteensä [€]		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
GASEK JÄRISTELMÄN TUOMA VUOSISÄÄSTÖ [EUR]		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
GASEK järjestelmän tuomat myyntituotot lämmityksestä														
Myyntiin tuotetun lämmön teho		3694	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249	4249
Tuotetun lämmön myyntihinta		50 €	51 €	52 €	53 €	54 €	55 €	56 €	57 €	59 €	60 €	61 €	62 €	63 €
KOKONAISVUOSITUOTOT [EUR]		184 722 €	216 679 €	221 013 €	225 433 €	229 942 €	234 540 €	239 231 €	244 016 €	248 896 €	253 874 €	258 952 €	264 131 €	269 413 €
Kuivurin vuosituotot; kuljetus														
Kuivurin käyttötunnit vuodessa		7000	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050
Kuivatuskapasiteetti [i-m3/h] max		3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45
Kuivatuskapasiteetti [i-m3/h] "käyttöaste" huomioden	0 %	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Voimalaitoksen käyttämä hake [i-m3/h]		1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Kuivattu hake myyntiin [i-m3/h]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Puun kosteus % ennen kuivatusta (PA omin.*)		50,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %
Puun "tiheys" ennen kuivatusta (PA omin*)	[kg/i-m <sup>3</sup> ]	320,00	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
Kuivaamattoman hakkeen massa [kg/h]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tavoiteltu kosteus kuivatuksen jälkeen ( max 450L/h)		20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Kuivatun hakkeen massa		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kuljetuskustannus [€/tonni]	1,5 %	7,50 €	7,61 €	7,72 €	7,84 €	7,96 €	8,08 €	8,20 €	8,32 €	8,45 €	8,57 €	8,70 €	8,83 €	8,96 €
KULJETUSKUSTANNUKSEN VUOSISÄÄSTÖ [EUR]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kuivurin vuosituotot; kuivattu myyntihake														
Kuivattu hake myyntiin [i-m3/vuosi]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kostean hakkeen lämpöarvo [MWh/i-m3]		0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Kostean hakkeen myyntihinta [€/MWh]****		21,00	21,42 €	21,85 €	22,29 €	22,73 €	23,19 €	23,65 €	24,12 €	24,60 €	25,10 €	25,60 €	26,11 €	26,63 €
Kuivan hakkeen lämpöarvo [MWh/i-m3]		0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Kuivan hakkeen myyntihinta [€/MWh]****		25,00 €	25,50 €	26,01 €	26,53 €	27,06 €	27,60 €	28,15 €	28,72 €	29,29 €	29,88 €	30,47 €	31,08 €	31,71 €
KUIVEMMAN HAKKEEN VUOSITUOTOT [EUR]		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
SÄHKÖNTUOTANTO ****Tilaajan tarkistettava loppusiakkaaltaan. Varsinkin oikea kuivan hakkeen myyntihinta Tilaajan neuvoteltava potentiaaalisten asiakkaiden kanssa														
Sähköntuotannon kustannukset omakäyttö														
Sähkön omakäytön kokonaiskulutus PA tehosta [MW]	10 %	175	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201
Hakkeen "omakustannushinta" [€/MWh]		12 €	12 €	12 €	12 €	13 €	13 €	13 €	13 €	14 €	14 €	14 €	15 €	15 €
Sähkön omakäyttö vuosikustannus[€]		2 055 €	2 410 €	2 459 €	2 508 €	2 558 €	2 609 €	2 661 €	2 715 €	2 769 €	2 824 €	2 881 €	2 938 €	2 997 €
Muut muuttuvat kustannukset omakäyttöä koskien	1,00 %	21 €	24 €	25 €	25 €	26 €	26 €	27 €	27 €	28 €	28 €	29 €	29 €	30 €
KOKONAISVUOSIKUSTANNUS [EUR]		2 075 €	2 435 €	2 483 €	2 533 €	2 584 €	2 635 €	2 688 €	2 742 €	2 796 €	2 852 €	2 909 €	2 968 €	3 027 €
Sähköntuotannon kustannukset myynti														
Sähkön kokonaiskulutus tehosta [MW]	90 %	1575	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811
Hakkeen "omakustannushinta" [€/MWh]		12 €	12 €	12 €	12 €	13 €	13 €	13 €	13 €	14 €	14 €	14 €	15 €	15 €
Sähkön myynti vuosikustannus[€]		18 494 €	21 694 €	22 128 €	22 570 €	23 022 €	23 482 €	23 952 €	24 431 €	24 919 €	25 418 €	25 926 €	26 444 €	26 973 €
Muut muuttuvat kustannukset sähkönmyyntiä koski	1,00 %	185 €	217 €	221 €	226 €	230 €	235 €	240 €	244 €	249 €	254 €	259 €	264 €	270 €
KOKONAISVUOSIKUSTANNUS [EUR]		18 679 €	21 911 €	22 349 €	22 796 €	23 252 €	23 717 €	24 191 €	24 675 €	25 168 €	25 672 €	26 185 €	26 709 €	27 243 €
Lisäenergian ostokustannukset														
Lisäenergian ostokustannukset	/tuotanto													
Ostosähkön kulutus [MWh]	0,25 %	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sähkön ostohinta [€/MWh]		100 €	102 €	104 €	106 €	108 €	110 €	113 €	115 €	117 €	120 €	122 €	124 €	127 €
Ostosähkön vuosikustannus[€]		394 €	462 €	471 €	481 €	490 €	500 €	510 €	520 €	531 €	541 €	552 €	563 €	574 €
Muut muuttuvat kustannukset lisäenergian ostoa kc	1,00 %	4 €	5 €	5 €	5 €	5 €	5 €	5 €	5 €	5 €	5 €	6 €	6 €	6 €
LISÄENERGIAN OSTOKUSTANNUKSET [EUR]		398 €	462 €	471 €	481 €	490 €	500 €	510 €	520 €	531 €	541 €	552 €	563 €	574 €
Sähköntuotannon tuotot myynti														
Sähköntuotanto [MWh]		1418	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630
Sähkön markkinahinta [€/MWh]		36 €	37 €	38 €	39 €	39 €	40 €	41 €	42 €	43 €	44 €	44 €	45 €	46 €
Sähkön myynti [€] markkinahinta - x%	5,00 %	49 058 €	57 545 €	58 695 €	59 869 €	61 067 €	62 288 €	63 534 €	64 804 €	66 101 €	67 423 €	68 771 €	70 146 €	71 549 €
KOKONAISVUOSITUOTOT [EUR]		49 058 €	57 545 €	58 695 €	59 869 €	61 067 €	62 288 €	63 534 €	64 804 €	66 101 €	67 423 €	68 771 €	70 146 €	71 549 €
Sähköntuotannon tuotot tariffi														
Sähköntuotanto [MWh]		1418	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	
Tuotantotariffi [€/MWh]		19 €	19 €	19 €	20 €	20 €	21 €	21 €	21 €	22 €	22 €	23 €	23 €	
Sähkön tuotantotariffi [€]		26 371 €	30 933 €	31 552 €	32 183 €	32 827 €	33 483 €	34 153 €	34 836 €	35 533 €	36 243 €	36 968 €	37 708 €	
KOKONAISVUOSITUOTOT [EUR]		26 371 €	30 933 €	31 552 €	32 183 €	32 827 €	33 483 €	34 153 €	34 836 €	35 533 €	36 243 €	36 968 €	37 708 €	- €

## 11.2 OSIO II: Investointi CHP-voimalaitos

Toisessa osiossa on laskuihin otettu mukaan edellä mainittujen lisäksi investointikustannukset ja sen rahoitukseen liittyvät seikat (taulukko 13).

*TAULUKKO 13 Näkymä Investointi CHP puupolttoaine-tilusta*

Tämä osio laskee diskonttaamalla molemmille tariffityypeille voimalaitosinvestoinnin sijoitetun pääoman tuoton, jolla investoija voi kartoittaa oman pääoman osuuden vaikutusta sekä riskinsietokykyään. Tämä tapahtuu diskonttaamalla tulevat tulovirrat eli markkinakoron avulla maksujen arvo siirretään nykyhetkeen. Tästä tulovirtojen nykyarvosta vähennetään investointikustannus ja saatu tulos



jaetaan investointikustannuksella, jolloin saadaan yksi tilinpäätösanalyysin tärkeimmistä tunnusluvusta eli sijoitetun pääoman tuotto-%.

Tämän osion avulla voidaan eri lähtötiedoilla nopealla tarkastelulla selvittämään investoinnin kannattavuus (poistojen jälkeen) sekä puupolttoainevoimalaitoksena että metsähakevoimalaitoksena. Osiossa on myös mahdollisuus varioida ja tarkastella yksityiskohtaisesti eri korkokannoilla rahoitusvaihtoehtojen vaikutus investoinnin kannattavuuden lopputulokseen.

### **11.3 OSIO III: Yhteenvetotaulukko CHP-laitosinvestoinnista**

Kolmas eli yhteenveto-osio kokoaa aiempien taulukoiden käytön aikaiset tuotot sekä kustannukset samaan taulukkoon ja tekee niihin liittyvän vertailun puupolttoainevoimalaitosinvestoinnin ja metsähakevoimalaitosinvestoinnin välillä.

Lisäksi tämä osio tekee euromääräisen vertailun voimalaitosinvestoinnin vaikutuksesta yrityksen tulokseen poistojen jälkeen (taulukko 14).

## TAULUKKO 14 Näkymä CHP yhteenveto-taulukosta

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Vuosituotannon muutokset		15 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Käyttöaika vuodessa		7000	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050
<b>GASEK järjestelmän tuotantokustannukset</b>													
Lämmöntuotanto vuodessa [MWh]		4725	5434	5434	5434	5434	5434	5434	5434	5434	5434	5434	5434
Sähkön tuotanto vuodessa [MWh]		1575	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811	1811
<b>KOKONAISVUOSIKUSTANNUS [EUR]</b>		<b>95 814 €</b>	<b>110 304 €</b>	<b>112 270 €</b>	<b>114 276 €</b>	<b>116 321 €</b>	<b>118 408 €</b>	<b>120 536 €</b>	<b>122 707 €</b>	<b>124 921 €</b>	<b>127 179 €</b>	<b>129 483 €</b>	<b>131 832 €</b>
<b>KÄYTTÖSTÄ SAATAVAT VUOTUISET TUOTOT</b>													
<b>GASEK järjestelmän tuotot puupolttoainevoimalaitos</b>													
Kuljetuskustannuksen vuosisäästö		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Kuivemman hakkeen vuosituotot		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Sähkön tuotanto myyntiin vuodessa [MWh]		1 418 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €
Sähkön myynti [€]		49 058 €	57 545 €	58 695 €	59 869 €	61 067 €	62 288 €	63 534 €	64 804 €	66 101 €	67 423 €	68 771 €	70 146 €
Sähkön tuotantotariffi [€]		95 072 €	108 145 €	106 933 €	105 698 €	104 437 €	103 152 €	101 840 €	100 503 €	99 138 €	97 747 €	96 327 €	94 880 €
<b>KOKONAISVUOSITUOTOT [EUR]</b>		<b>328 851 €</b>	<b>382 368 €</b>	<b>386 641 €</b>	<b>391 000 €</b>	<b>395 446 €</b>	<b>399 980 €</b>	<b>404 605 €</b>	<b>409 323 €</b>	<b>414 135 €</b>	<b>419 044 €</b>	<b>424 050 €</b>	<b>429 157 €</b>
<b>GASEK järjestelmän tuotot hakevoimalaitos</b>													
Kuljetuskustannuksen vuosisäästö		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Kuivemman hakkeen vuosituotot		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Sähkön tuotanto myyntiin vuodessa [MWh]		1 418 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €	1 630 €
Sähkön myynti [€]		49 058 €	57 545 €	58 695 €	59 869 €	61 067 €	62 288 €	63 534 €	64 804 €	66 101 €	67 423 €	68 771 €	70 146 €
Sähkön tuotantotariffi [€]		26 371 €	30 933 €	31 552 €	32 183 €	32 827 €	33 483 €	34 153 €	34 836 €	35 533 €	36 243 €	36 968 €	37 708 €
<b>KOKONAISVUOSITUOTOT [EUR]</b>		<b>260 151 €</b>	<b>305 157 €</b>	<b>311 260 €</b>	<b>317 485 €</b>	<b>323 835 €</b>	<b>330 312 €</b>	<b>336 918 €</b>	<b>343 656 €</b>	<b>350 530 €</b>	<b>357 540 €</b>	<b>364 691 €</b>	<b>371 985 €</b>
<b>2017-2029</b>													
<b>PUUPOLTOAINEVOIMALAITOS VS.(-) HA 811 081 €</b>		<b>68 701 €</b>	<b>77 211 €</b>	<b>75 381 €</b>	<b>73 515 €</b>	<b>71 610 €</b>	<b>69 668 €</b>	<b>67 687 €</b>	<b>65 667 €</b>	<b>63 606 €</b>	<b>61 503 €</b>	<b>59 359 €</b>	<b>57 172 €</b>
<b>INVESTOINNIN VAIKUTUS YRITYKSEN TULOKSEEN POISTOJEN JÄLKEEN</b>													
<b>Puupolttoainevoimalaitos</b>		<b>89 038 €</b>	<b>130 464 €</b>	<b>135 171 €</b>	<b>139 924 €</b>	<b>144 724 €</b>	<b>149 572 €</b>	<b>154 469 €</b>	<b>159 416 €</b>	<b>164 414 €</b>	<b>169 464 €</b>	<b>294 567 €</b>	<b>297 324 €</b>
<b>Hakevoimalaitos</b>		<b>17 337 €</b>	<b>349 053 €</b>	<b>69 390 €</b>	<b>74 810 €</b>	<b>80 314 €</b>	<b>85 904 €</b>	<b>91 582 €</b>	<b>97 350 €</b>	<b>103 209 €</b>	<b>109 161 €</b>	<b>235 208 €</b>	<b>240 152 €</b>
<b>2017-2029</b>													
<b>PUUPOLTOAINEVOIMALAITOS VS.(-) HA 475 081 €</b>		<b>71 701 €</b>	<b>#####</b>	<b>65 781 €</b>	<b>65 115 €</b>	<b>64 410 €</b>	<b>63 668 €</b>	<b>62 887 €</b>	<b>62 067 €</b>	<b>61 206 €</b>	<b>60 303 €</b>	<b>59 359 €</b>	<b>57 172 €</b>

Puupolttoainevoimalaitos versus metsähakevoimalaitos Tuotantokustannukset ja tuotot

**METSÄHAKEVOIMALAITOS:**

X-VUOTTA

INVESTOINNIN KANNATTAVUUS x vuodessa

ROI x vuotta

Korkokanta

10

#####

117 %

3 %

**PUUPOLTOAINEVOIMALAITOS:**

X-VUOTTA

INVESTOINNIN KANNATTAVUUS x vuodessa

ROI x vuotta

Korkokanta

10

#####

86 %

3 %

Investoinnin vaikutus yrityksen tulokseen poistojen jälkeen

## **12 KANNATTAVUUSLASKURIN KÄYTTÖ**

### **LÄMPÖVOIMALAITOSINVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN LASKEMISEEN**

Opinnäytetyön edetessä tuli aiheelliseksi tarkastella yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotantolaitoksen lisäksi myös pelkkään lämmöntuotantoon tarkoitettua lämpövoimalaitosta ja sen investoinnin kannattavuutta. Tämän vuoksi sisällytettiin opinnäytetyöhön sekä laskuriin osio, jossa tarkastellaan rakennetun CHP-laskurin soveltuvuutta lämpövoimalaitosinvestoinnin kannattavuuden laskemiseen.

Laskurin lähtötietoihin tehtiin muutokset sähkön- ja lämmöntuotannon tuotantosuhteeseen sekä investointiin ja kokeiltiin rakennettujen taulukoiden toimivuutta. Tällöin havaittiin, että kannattavuuslaskuri soveltuu sellaisenaan myös lämpövoimalaitosinvestoinnin laskemiseen.

Lämpövoimalaitosinvestointia varten tehtiin kuitenkin omat erilliset taulukko-osiot, joista käy ilmi pelkkään lämmöntuotantoon liittyvät käytönaikaiset kustannukset ja tuotot sekä investointiin liittyvät yksityiskohdat. Nämä taulukot ovat sisällöltään täsmälleen samat kuin metsähake- ja puupolttoainevoimalaitoksen käytönaikaisia tuotantokustannuksia sekä tuottoja käsittelevä OSIO I ja laitosinvestointia käsittelevä OSIO II. Taulukoiden rivikohtaisia nimityksiä ei myöskään muutettu ja tämän vuoksi myös näissä taulukoissa on viittauksia sähköntuotantoon. Lämpövoimalaitosinvestoinnin laskenta poikkeaa kuitenkin CHP-voimalaitosinvestoinnin laskennasta siten, että voimalaitosinvestoinnin kokonaiskustannusten arvio syötetään Investointi lämpövoimalaitos -välilehdelle.

Erillisten taulukko-osioden lisääminen lämpövoimalaitosinvestoinnille mahdollistaa sen, että laskurilla on mahdollista tehdä suuntaa antava vertailu myös CHP-voimalaitosratkaisujen ja lämpövoimalaitoksen kesken.

## 13 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön yhtenä lähtökohtana oli koota GASEK Oy:n CHP-voimalaitosinvestointia miettivälle asiakkaalle tietopaketti, jossa perehdytään energiantuotantoon sekä sen tulevaisuudennäkymiin, käytettävään kaasutus-tekniikkaan, investointivaihtoehtoihin ja sekä voimalaitokseen liittyviin kustannuksiin ja tuottoihin. Toisena lähtökohtana ja merkittävin osa opinnäytetyötä oli rakentaa työkalu, jolla voidaan tarkastella asiakkaan kannalta suunnitteilla olevan voimalaitosinvestoinnin kannattavuutta eri tariffilaitoksilla.

Koska GASEK Oy ei tähän mennessä ole valmistanut kartoituksen kohteena olevan 1 megawatin kokoluokkaa olevaa CHP-voimalaitosta, samalla opinnäytetyön tuli soveltua voimalaitostoimittajan tarpeisiin mietittäessä oman laitostuotannon kulurakennetta investoijan kannalta. Tämän lisäksi laskuri tarjoaa voimalaitostoimittajalle työkalun myynnin tueksi sekä auttaa kartoittamaan potentiaalisia loppuasiakkaita.

Uskon, että tuloksena saatu selvitys ja laskuri ovat edellä mainittuihin tavoitteisiin nähden riittävän tarkka, jotta niiden avulla sekä asiakas että laitosvalmistaja voivat tarkastella realistisesti voimalaitosinvestoinnin kannattavuutta investointia suunniteltaessa.

Vertaillen tuloksia eri lähtöarvoilla sekä tariffilaitoksilla kävi kuitenkin ilmi, että sähköntuotanto myyntiin ja hakkeen kuivattaminen pelkästään hakemyyntiä tukevaan tarkoitukseen ei sellaisenaan ole taloudellisesti kannattavaa. Sen vuoksi on ensiarvoisen tärkeää, niin kyseessä olleen hakeyrittäjän kuin muidenkin investointia harkitsevien osalta, että yhteistuotannosta saatava lämpö hyödynnetään jossain määrin myös kaupallisesti tai sitä käytetään esimerkiksi omaan tuotanto-/lämmityskäyttöön. Selvityksessä ei tosin ollut mahdollisuutta ottaa kantaa kysymykseen, voiko haketuotantoa kasvattaa, kun hakkeen laatu paranee ja kuljetuskustannukset halpenevat.

Edellä mainituista seikoista johtuen selvityksen lähtökohtana olleessa asiakastapauksessa ei voimalaitoksen eikä siihen liittyvän hakevaraston sijaintipaikka ole näillä lähtötiedoilla lämmöntuotannon kannalta optimaalinen. Mikäli ei ole varmaa, että tuotantomääriä saadaan kasvatettua, ainakin osalle hakkeen kuivatukseen suunnitellusta lämmöntuotannosta tulisi löytää kaupallista käyttöä. Tämä saattaa johtaa voimalaitoksen sijoituspaikan muutokseen, jotta kyseisessä asiakastapauksessa CHP-voimalaitosinvestoinnista saadaan taloudellisesti kannattava.

Nykyiset tuotantotariffit sekä mahdollinen investointituki määrittelevät sen, että selvityksen lähtökohtana olleen kokoluokan voimalaitosinvestoinnista saadaan kannattava, kun myytävän sähkön lisäksi tuotettu lämpö myydään eteenpäin tai lämpö käytetään omaan tarpeeseen ympäri vuoden. Mikäli tuotetulla sähköllä korvataan myös ostosähkö osittain tai kokonaan, lisää se investoinnin houkuttelevuutta entisestään. Tämän vuoksi potentiaalinen CHP-laitosinvestoija voisikin olla sellainen yritys tai yrityskeskittymä, joka tarvitsee sähkön lisäksi prosesseissaan lämpöä ympäri vuoden ja joka voi korvata investoinnin avulla nykyisen lämpöenergian tarpeensa kohtuullisen täysimääräisesti.

Korkea energiatuotannon omavaraisuus on Suomen strateginen tavoite. Sähköä saa kuitenkin edullisesti naapurimaista, ja kuten esiselvityksestä käy ilmi, syöttötariffijärjestelmään hyväksytyn CHP-voimalaitoksen kannattavuus puolestaan vaatii usein myös laitoksen lämmöntuotannon hyödyntämistä merkittävilta osin. Nämä seikat asettavat omat haasteensa suunnitelluille investoinneille ja karsivat siten potentiaalisten laitosinvestoijien määrää.

Olisikin toivottavaa, että uuden hallituksen linjaukset toisivat mukanaan muutoksia, joilla uusiutuvalla energia tapahtuva energiantuotantoa sekä tuotannon hajauttamista kannustetaan taloudellisesti ja tuetaan nykyistä paremmin. Tällä helpotettaisiin uuden tekniikan käyttöönottoa ja varmistettaisiin, että toimiva tuotantotekniikka vakiintuisi.

## LÄHTEET

1. Hirvonen, Ritva (toim.) 2002. Suomen Energiavisio 2030. VTT. Saatavissa:  
[http://www.vtt.fi/files/projects/energy\\_book\\_series/ev\\_2030\\_tiivistelma.pdf](http://www.vtt.fi/files/projects/energy_book_series/ev_2030_tiivistelma.pdf)  
Hakupäivä 28.7.2015.
2. US EIA International Energy Outlook 2011. 2011. U.S. Energy Information Administration. Saatavissa:  
<http://www.eia.gov/pressroom/releases/press368.cfm>  
Hakupäivä 29.8.2015.
3. Valtioneuvoston tiedonanto eduskunnalle 29.5.2015 nimitetyn pääministeri Juha Sipilän hallituksen ohjelmasta. 2015. Valtioneuvoston kanslia. Saatavissa:  
[http://valtioneuvosto.fi/documents/10184/1433371/Tiedonanto\\_Sipil%C3%A4\\_29052015\\_final.pdf/6de03651-4770-492a-907f-89452141d0d5](http://valtioneuvosto.fi/documents/10184/1433371/Tiedonanto_Sipil%C3%A4_29052015_final.pdf/6de03651-4770-492a-907f-89452141d0d5)  
Hakupäivä 24.6.2015.
4. Selvitys hajautetusta tuotannosta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuinalueilla. 2010. Motiva. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/files/7938/Selvitys\\_hajautetusta\\_ja\\_paikallisesta\\_energiantuotannosta\\_erilaisilla\\_asuinalueilla\\_Loppuraportti.pdf](http://www.motiva.fi/files/7938/Selvitys_hajautetusta_ja_paikallisesta_energiantuotannosta_erilaisilla_asuinalueilla_Loppuraportti.pdf)  
Hakupäivä 13.7.2015.
5. Ennustettu ilmastonmuutos Suomessa. 2015. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa:  
<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/74b167fc-384b-44ae-84aa-c585ec218b41/ennustettu-ilmastonmuutos-suomessa.html>  
Hakupäivä 28.7.2015.
6. Nykyinen ilmasto. 2015. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa:  
<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/1c8d317b-5e65-4146-acda-f7171a0304e1/nykyinen-ilmasto-30-vuoden-keskiarvot.html>  
Hakupäivä 28.7.2015.
7. Lämpötilat kohoavat. 2015. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa:  
<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/dfe79a73-08ea-4686-8463-811b87f53e44/lampotilat-kohoavat.html>  
Hakupäivä 28.7.2015.

8. Wood gasifying solutions. 2013. GASEK Oy. Saatavissa:  
[http://www.gasek.fi/wp-content/uploads/2011/08/Powered by GASEK wood gasifying solutions e site.pdf](http://www.gasek.fi/wp-content/uploads/2011/08/Powered_by_GASEK_wood_gasifying_solutions_e_site.pdf)  
Hakupäivä 4.9.2015.
9. Puukaasureaktori. 2015. Motiva. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/bioenergia\\_n\\_tuotantotekniikka/polttotekniikka\\_kaasumaisille\\_polttoaineille/puukaasureaktori](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergia_n_tuotantotekniikka/polttotekniikka_kaasumaisille_polttoaineille/puukaasureaktori)  
Hakupäivä 30.3.2015.
10. Knoef H.A.M. (toim.) 2005. Handbook Biomass Gasification first edition. BTG biomass technology group
11. Alakangas, Eija – Erkkilä, Ari – Oravainen, Heikki 2008. Tehokas ja ympäristöä säästävä tulisijanlämmitys. VTT. Saatavissa:  
<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-10553-08.pdf>  
Hakupäivä 27.4.2015.
12. Kaasutustekniikan teoriaa. 2015. Virtuaalinen AMK-verkosto. Saatavissa:  
[http://www2.amk.fi/mater/luonnonvara/Bioenergia/kaasutustekniikan\\_teor ia/5kiinteakerros.swf](http://www2.amk.fi/mater/luonnonvara/Bioenergia/kaasutustekniikan_teor ia/5kiinteakerros.swf)  
Hakupäivä 27.4.2015.
13. Kaasupoltin. 2015. Motiva. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/bioenergia\\_n\\_tuotantotekniikka/polttotekniikka\\_kaasumaisille\\_polttoaineille/kaasupoltin](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergia_n_tuotantotekniikka/polttotekniikka_kaasumaisille_polttoaineille/kaasupoltin)  
Hakupäivä 30.3.2015.
14. Kaasumoottori. 2015. Motiva. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/bioenergia\\_n\\_tuotantotekniikka/polttotekniikka\\_kaasumaisille\\_polttoaineille/kaasumoottori](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergia_n_tuotantotekniikka/polttotekniikka_kaasumaisille_polttoaineille/kaasumoottori)  
Hakupäivä 29.6.2015.
15. Kaasuturbiini. 2015. Motiva. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/bioenergia\\_n\\_tuotantotekniikka/polttotekniikka\\_kaasumaisille\\_polttoaineille/kaasuturbiini](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergia_n_tuotantotekniikka/polttotekniikka_kaasumaisille_polttoaineille/kaasuturbiini)  
Hakupäivä 29.6.2015.
16. Opas sähkön pientuottajalla. 2012. Motiva. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/files/5724/Opas\\_sahkon\\_pientuottajalle\\_2012.pdf](http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf)  
Hakupäivä 28.7.2015.

17. Uusiutuvilla energialähteillä tuotettavan sähkön tuotantotuen maksatuk-  
sen hakeminen – ohje sähkön tuottajalle. 2015. Energiavirasto. Saatavissa:  
<http://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Maksatusohje+2.2.2015.pdf/9473d45d-4801-44f1-8145-8fa622de012c>  
Hakupäivä 1.7.2015.
18. Syöttötariffin määräytyminen. 2015. Energiavirasto. Saatavissa:  
<http://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/2015-Q2+Sy%C3%B6tt%C3%B6tariffin+m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ytyminen+2015-07-02+FI.pdf/558935d4-5047-4ccb-9626-bacfe19a1545>  
Hakupäivä 1.7.2015.
19. Lavaste Kari. 2015. Re:Kysymys tariffeista. Sähköpostiviesti . Vastaanottajat: Kimmo Laatikainen ja Kauko Väinämö
20. Energiavuosi 2014 - Sähkö. 2015. Energiateollisuus. Saatavissa:  
<http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2014-sahko>  
Hakupäivä 31.7.2015.
21. Asetus 1063/2012. 2012. Finlex. Saatavissa:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20121063>  
Hakupäivä 31.7.2015.
22. Hakonen, Tuomas – Laurila, Jussi 2011. Metsähakkeen kosteuden vaikutus polton ja kaukokuljetuksen kannattavuuteen. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja. Saatavissa:  
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/34746/B55.pdf?sequence=1>  
Hakupäivä 23.7.2015.
23. Laitila, Juha 2004. Kokopuuhakkeen kustannuslaskentaohjelma. Metsäntutkimuslaitos. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/tietolahteita/laskureita](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/laskureita)  
Hakupäivä 13.7.2015.